

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA AUTOMATIZAČNÍ TECHNIKY A ŘÍZENÍ

Zpřesňování měření polohy použitím GPS

Refining of GPS position

Student:

Lukáš Křetinský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Fojtík, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Křetinský**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3902R001 Aplikovaná informatika a řízení
Téma: **Zpřesňování měření polohy s použitím GPS**
Refining of GPS Position

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s principy zjišťování polohy prostřednictvím technologie GPS a Galileo a porovnejte je.
2. Nastudujte metody zpřesňování polohy GPS a popište je. Zaměřte se na technologie DGPS a RTK u kterých popište potřebné vybavení.
3. V rámci dostupných prostředků realizujte úlohu zpřesnění polohy GPS technologií DGPS.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhnete směry dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ESA *Galileo Navigation*. [online]. 2010 Available from WWW < <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html> >.
- [2] FARANA, R., SMUTNÝ, L., VÍTEČEK, A. *Zpracování odborných textů z oblasti automatizace a informatiky*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1999. 68 s. ISBN 80-7078-737-6.
- [3] *Global Positioning System* [online]. 2010 Available from WWW < <http://www.gps.gov/> >
- [4] RAPANT, P. *Geoinformační technologie*. [skriptum]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005, 125 stran
- [5] STEINER, I., ČERNÝ, J. *GPS od A do Z*. 4. Aktualizované vydání. PICODAS Praha, spol. s r.o, Praha 2006. 264 s. ISBN 80-239-7516-1
- [6] VOŽENÍLEK V. *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Univerzita Palackého, Olomouc, 2001. ISBN 80-244-0383-8. 183s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Fojtík, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010
Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
podpis

Křetinský Lukáš
Olšava 2215
688 01, Uherský Brod

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Davidu Fojtíkovi, Ph.D. i panu Ing. Davidu Vojtkovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat především mé rodině za podporu při studiu a všem, kteří se na mé bakalářské práci podíleli.

Anotace bakalářské práce

KŘETINSKÝ, L. *Zpřesňování měření polohy použitím GPS : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2009, 85 s. Vedoucí práce: Fojtík, D.

Bakalářská práce se zabývá metodikou zpřesňování měření polohy pomocí systému GPS. V úvodu je popsán teoretický základ o globálních navigačních satelitních systémech, konkrétně GPS, Galileo a jejich porovnání. Dále je zde popis metod zpřesňující měření pomocí GPS i faktory ovlivňující přesnost právě tohoto systému a jejich zdroje. Na základě pochopení teoretické části je vybrán GPS OEM modul AC12 od firmy Magellan, vytvoření vlastní komunikační jednotky a provedení statických i dynamických měření, kde je zjištěno, zda je tento modul vhodný pro účely navigace, jako je například model vrtulníku.

Annotation of the bachelor's thesis

KŘETINSKÝ, L. *Refining the position measurement by GPS : bachelor's thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation Engineering and Control), 2009, 85 p. Thesis head: Fojtík, D.

This bachelor's thesis deals with the methodology of refining the position measurement by means of GPS. The introduction gives the description of theoretical basis of global navigation satellite systems, in particular GPS and Galileo, and their comparison. It also describes the method refining the measurement by means of GPS, as well as the factors affecting the accuracy of this system, and the sources of inaccuracies. Based on the proper understanding of the theoretical part, GPS OEM module AC12 made by Magellan was selected, own communication unit was created, and static and dynamic measurements were carried out to reveal whether such module is suitable for the navigation purposes, like e.g. the helicopter model.

Obsah

1	Úvod	15
2	Globální navigační satelitní systém GNSS.....	17
3	Globální polohový systém GPS.....	18
3.1	Popis systému	18
3.2	Signály vysílané družicemi GPS.....	19
3.2.1	Základní frekvence	21
3.2.2	C/A kód.....	21
3.2.3	P-kód (Y-kód).....	22
3.2.4	Navigační zpráva	23
3.3	Principy měření.....	25
3.3.1	Kódové měření.....	25
3.3.2	Fázové měření.....	28
3.3.3	Dopplerovské měření.....	29
3.4	Faktory ovlivňující přesnost systému GPS a jejich zdroje	29
3.4.1	Řízení přístupu k signálům z družic	29
3.4.2	Poměr signál/šum.....	31
3.4.3	Vícecestné šíření a stínění signálu	31
3.4.4	Geometrické uspořádání viditelných družic	32
3.4.5	Pečlivost přípravy plánu měření	33
3.4.6	Stabilita hodin družice	33
3.4.7	Vliv ionosféry a troposféry	34
3.5	Zpřesňování GPS	35
3.5.1	Průměrování.....	36
3.5.2	Diferenční GPS (DGPS)	37
3.5.3	Metoda RTK (Real Time Kinematic GPS).....	41
3.5.4	Pseudodružice	41
3.5.5	Rozšiřující systémy SBAS.....	42
3.5.6	Hardwarové technologie (SiRF)	43
3.6	Přijímače GPS.....	45
3.7	Využití GPS	53
4	Galileo	55
4.1	Druhy služeb	57
4.2	Konstelace satelitů	58
4.3	Frekvence a signály	59
4.4	Galileo Joint Undertaking.....	59
4.5	Software pro návrh přijímače evropského navigačního systému Galileo.....	60
5	Zprovoznění GPS přijímače AC12, jeho vlastnosti a měření pomocí metody SBAS a DGPS.....	62
5.1	Realizace komunikační jednotky	63
5.2	Používané standardní formáty pro komunikaci	65
5.2.1	Formát NMEA 0183	66
5.2.2	RTCM SC-104.....	69
5.2.3	NTRIP.....	70
5.3	Statické měření s GPS modulem AC12.....	71
5.3.1	Postup měření a výsledné grafy	73
5.4	Dynamické měření s GPS modulem AC12	78
6	Závěr	82
7	Seznam použité literatury	83

Seznam použitých zkratek

CEP	Circular Error Probable	Pravděpodobná kruhová chyba
CZEPOS	CZEch Positioning System	Český poziční systém
DGPS	Differential GPS	Diferenční GPS
DOP	Dilution of Precision	Zhoršení přesnosti z důvodu geometrie
EGNOS	European Global Navigation Overlay System	Evropský globální navigační překryvný systém
GNSS	Global Navigation satellite System	Globální družicový navigační systém
GLONASS	Global Navigation satellite System	Globální navigační družicový systém
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém
HDOP	Horizontal Dilution of Precision	Zhoršení horizontální přesnosti
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
MSAS	Multi-Function Satellite Augmentation System	
NAVSTAR	Navigation System with Time And Ranging	Navigační systém s časovou a dálkoměrnou službou
NMEA	National Marine Electronics Association	
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol	
OTF	On-the-fly	
PDOP	Positional Dilution of Precision	Zhoršení přesnosti určení polohy
PPS	Precise Positioning Service	Přesná polohová služba
RDOP	Relative Dilution of Precision	
RINEX	Receiver Independent Exchange Format	Předávací formát nezávislý na přijímači
RTCM SC-104	Radion Technical Commission for Marine Services Special Committee 104	
RTK GPS	Real Time Kinematics GPS	
SA	Selective Availability	Selektivní dostupnost
SBAS	Satellite Based Augmentation System	
SEP	Spherical Error Probable	Pravděpodobná sférická chyba
SGS-85	Sovjetskaja Geodetičeskaja Systema - 1985	Sovětský geodetický systém - 1985
SPS	Standard Positioning Service	Standardní polohová služba
TDOP	Time Dilution of Precision	Zhoršení přesnosti určování času
URE	User Equivalent Range Error	
VDOP	Vertical Dilution of Precision	Zhoršení přesnosti určování vertikální souřadnice
VESOG		Výzkumná a experimentální síť pro observace GNSS
WAAS	Wide Area Augmentativ System	Rozsáhlý rozšiřující systém
WGS-84	World Geodetic System - 1984	Světový geodetický systém - 1984

1 Úvod

V dobách, kdy ještě svět neoplýval moderní technikou a technologiemi jako je tomu dnes, bylo také zapotřebí se nějakým způsobem orientovat, aby byl člověk schopen se dostat na určité místo, nebo aby nezabloudil. Na souši to problém nebyl, vždy se našel nějaký objekt, nějaká oblast, podle které se člověk mohl orientovat, a tyto informace se předávaly různými způsoby dále. Tyhle věci se týkaly především dvourozměrného prostoru. Lidé ale potřebovali k rozvoji zemské civilizace i jiný způsob dopravy a přišli na to, že rychlejší a snazší je cestovat po vodě. Tím se velmi usnadnila přeprava zboží i osob na velké vzdálenosti. Problém však byl s orientací v třírozměrném prostoru. Ze začátku, kdy nebyly ještě mapy, se námořníci orientovali podle pobřeží, plavba mohla být pouze za dne a to navíc za příznivých podmínek. V opačném případě musela loď zakotvit. Další problémy však nastaly v případě, kdy potřebovali námořníci vyplout na otevřené moře. Nejdříve se používala metoda určování polohy pomocí Slunce či hvězd, až následně se začala používat tzv. *metoda výpočtem*, kdy se do mapy zaznamenávaly uražené vzdálenosti od minulých známých poloh a tím se určila nová poloha lodi. V tomto případě se musela ještě znát rychlost, směr a doba plavby. Významného pokroku v navigaci se dosáhlo ve 13. století při zavedení námořnického kompasu. Jak se postupně civilizace rozvíjela, s ní se zdokonalovala i technika a přibývalo možností, jakými se dalo orientovat. V každodenním životě, dokonce my sami už jen tím, že jdeme na nákupy do města, využíváme jakousi primitivní navigaci, aniž bychom si to uvědomovali a to právě pomocí orientačních bodů, ať už to jsou budovy nebo obchody. Navigace ale není vše, co bylo potřeba zdokonalit. I přesné určování polohy bylo obtížné a ne vždy přesně použitelné. Používalo se úhlové měření, a to buď k bodům na zemském povrchu, nebo ke hvězdám. Tyhle metody nebyly přesné a málokdo s nimi uměl pracovat. Všechno se změnilo až s nástupem radiových vysílačů. V této době se začal budovat navigační systém, zatím ale pouze pomocí pozemních vysílačů.

Až s nástupem raketové techniky a umělých družic Země, vznikla na počátku sedmdesátých let myšlenka, vybudovat družicový, pasivní, dálkoměrný systém, se kterým by bylo možné určovat přesnou polohu v trojrozměrném prostoru, spolu s přesným časem. Projekt byl oficiálně pojmenován NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS). GPS navigační přístroje se v posledních letech dočkaly obrovského rozvoje. Napomohly tomu vyspělejší technologie umožňující výrobu menších, spolehlivějších

a snadněji ovladatelných přijímačů, rozvoj velmi přesných a podrobných digitálních map a především rozhodnutí vlády USA o zrušení záměrně vytvořené chyby vnášené do civilního signálu GPS kvůli bezpečnosti. Díky tomu, se přesnost zaměření pozice kdekoliv na světě pro běžného civilního uživatele zvýšila z dřívějších cca 100 metrů na dnešních 5-10 metrů. Informace byly čerpány z [STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. 2006] [BABČANÍK, Jan, *HW.cz*. 2006].

2 Globální navigační satelitní systém GNSS

Globální navigační satelitní systém (Global Navigation Satellite System – GNSS) je služba umožňující autonomní prostorové určování polohy za pomoci satelitů s celosvětovým pokrytím. Uživatelé této služby používají pro její příjem malých elektronických radiových přijímačů, které jsou schopné vypočítávat naši polohu s přesností v jednotkách metrů, ve vědeckých aplikacích dokonce v centimetrech a to na základě přijímaných signálů z družic. Funkčními systémy jsou prozatím americký NAVSTAR GPS a ruský GLONASS. V budoucnu se počítá například s evropským systémem Galileo nebo čínským Compass.

Americký GPS navigační systém během několika let, kdy byl uvolněn pro civilní využití, získal nevídanou důležitost. Řada oborů lidské činnosti je přímo závislých na fungování tohoto systému a GPS každým rokem získává nové uživatele a obory, které pro GPS nachází uplatnění. Obory související s GPS jsou jedněmi z nejrychleji rostoucích oborů informačních technologií. Evropské státy ovšem přistupují k systémům GPS či GLONASS s nedůvěrou. Vadí jim jejich převážně vojenský charakter a také fakt, že je spravuje vždy jen jeden stát. Jinými slovy řečeno, řada důležitých oborů je závislá na možném rozhodnutí vlády USA či Ruska omezit fungování systému GPS, či GLONASS bez možného udání důvodů. Usiluje se proto o vybudování globálního družicového navigačního systému, který by byl spravován nadnárodně a byl by zcela nevojenský. Jsou uvažovány dvě generace GNSS:

GNSS-1

Do této první generace je zařazen systém GPS a GLONASS se svými podpůrnými systémy SBAS a je vnímána jako přechodový stupeň mezi existujícími, vojenskými složkami provozovanými družicovými polohovými systémy a budoucím celosvětovým civilním GNSS-2, který již měl být na existujících systémech nezávislý, ale měl s nimi být schopen spolupracovat.

GNSS-2

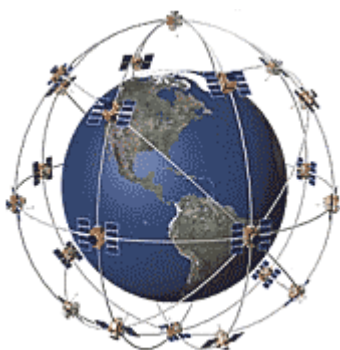
Je kategorie, do které řadíme projekty jako GPS-III, Galileo a Compass. Mají zajistit vysokou přesnost a spolehlivost pro plánované civilní služby jako je například Safety of Life, využitelné pro všechny civilní uživatele. Informace čerpány z [RAPANT, Petr. 2002].

3 Globální polohový systém GPS

Systém GPS (Global Position System) je původně vojenský navigační systém armády Spojených států amerických a byl oficiálně pojmenován NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS). Od začátku 90. let je systém bezplatně přístupný i pro civilní uživatele po celém světě. Družicové polohové systémy se dělí na tři základní segmenty. Jsou to kosmický, řídicí a uživatelský segment.

3.1 Popis systému

Kosmický segment je tvořen soustavou umělých družic Země obíhajících po známých, přesně definovaných a určených oběžných drahách. Systém je založen na výpočtu vzdáleností mezi uživatelem na Zemi a družicemi na oběžných drahách ve výšce přibližně 20 000 km přesněji řečeno 20 183 km. Aktivních družic kolem naší Země je celkem 24, z toho je 21 družic pracovních a 3 rezervní a každá družice obsahuje atomové hodiny, které se starají o dlouhodobou frekvenční stabilitu vysílaného signálu s odchylkou přesnosti max. 3ns. Znamená to, že nad jakýmkoliv místem na Zemi je možnost příjmu z maximálně dvanácti družic, protože ostatní družice se v daný okamžik nachází nad protilehlou stranou Země. Pro výpočet polohy je nutno zpracovat signál z minimálně tří družic. Pro výpočet polohy i s výškou je naopak zapotřebí signál ze čtyř družic.



Obr. 3.1 Znázornění kosmického segmentu [BABČANÍK, Jan. HW.cz. 2006]

Řídicí segment tvoří pozemní řídicí stanice. *Hlavní řídicí* stanice je na letecké základně v Colorado Springs v USA a zpracovává signály z monitorovacích stanic. *Monitorovací stanice* jsou rozmístěny rovnoměrně po obvodu Země a to kolem rovníku (Obr. 3.2). Pokud družice prolétne nad touto stanicí, její signály přenášejí na hlavní řídicí stanici, kde probíhají korekce v dráze letu družice a i korekce vysílaného signálu. Dále dochází také

k synchronizaci atomových hodin na družici. Řídicí systém provádí zprávu a údržbu družic a spolupracuje s umístováním nových družic. Frekvence signálu GPS (L1: 1,575 GHz) je volena tak, aby byl signál nezávislý na vnějších faktorech jak na denní či roční době, tak i na počasí [STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. 2006]. Proto se uživatel GPS přijímače nemusí obávat toho, že by při bouři, nebo průtrži mračen například se svou automobilovou GPS navigací zabloudil.



Obr. 3.2 Monitorovací stanice [Beruna, 2008]

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů (antény a čipy přijímačů) jednotlivých uživatelů a dalších technických zařízení, které umožňují využívání družicového polohového systému, jako informace o poloze, rychlosti a přesném čase. Tento systém je pasivní a to z bezpečnostních důvodů. Přijímače GPS nemohou být zaměřeny nepřítelem. Jelikož přijímače nekomunikují s družicemi, je systém GPS schopen obsloužit neomezený počet uživatelů. Tento segment je konfigurován na požadavky uživatelů a technickými možnostmi a omezeními kosmického segmentu. S řídicím segmentem uživatelé do přímého styku nepřicházejí. [BABČANÍK, Jan. *HW.cz*. 2006]

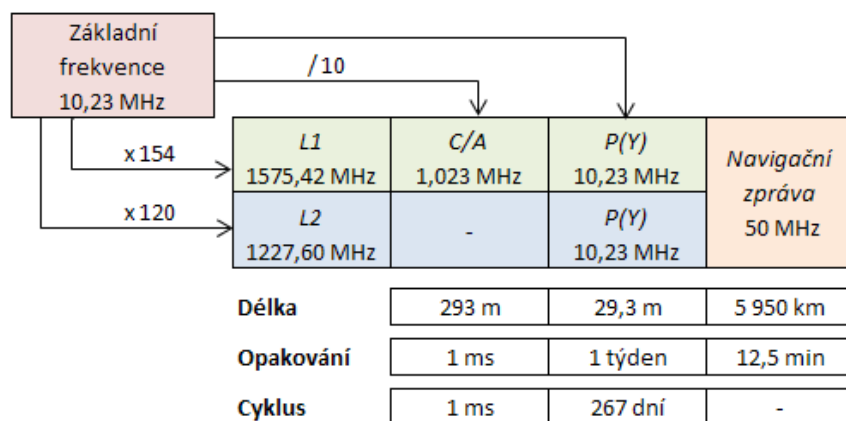
3.2 Signály vysílané družicemi GPS

Všechny signály vysílané družicemi GPS jsou kombinacemi nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy a jeho vytváření probíhá v celé řadě kroků. Veškeré složky daného signálu jsou odvozovány násobením či dělením základní frekvence (viz odst. 3.2.1) [RAPANT, Petr. 2002]. Signály přenáší informace, např. o časovém zdroji družice, její oběžné dráze (efemeridy), jejím zdravotním stavu aj. Součástí signálu jsou rovněž specifické informace určené pouze pro potřeby ozbrojených sil USA, případně jejich spojenců.

Družice vysílají signály na dvou nosných frekvencích v L-pásmu, označované jako L1 a L2, které jsou odvozeny ze základní frekvence $f_0 = 10,23$ MHz součinem 154, resp. 120:

$$L1 = 154 \cdot f_0 = f_1 = 1575,42 \text{ MHz} \quad , \text{ což odpovídá vlnové délce } 19,0 \text{ cm}, \quad (1)$$

$$L2 = 120 \cdot f_0 = f_2 = 1227,60 \text{ MHz} \quad , \text{ což odpovídá vlnové délce } 24,2 \text{ cm}. \quad (2)$$



Obr. 3.3 Struktura družicového signálu [Path.cz, 2007]

Signál L1 je modulován dvěma dálkoměrnými kódy reprezentovanými tzv. pseudonáhodnými šumy (Pseudo Random Noise - PRN) a navigační zprávou. Jedná se o:

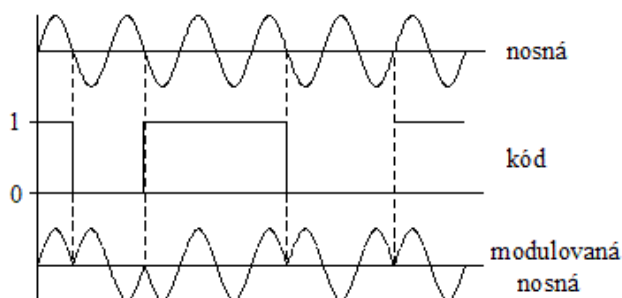
- přesný nebo taky P-kód (angl. Precision nebo P-code), který může být pro vojenské účely zašifrován, potom se označuje jako Y-kód,
- hrubý/dostupný nebo taky C/A kód (angl. Coarse/Acquisition nebo C/A code), který není šifrovaný.

Signál L1 se označuje jako *signál standardní polohové služby* (angl. Standard Positioning Service - SPS).

Druhý signál L2 je modulován pouze P-kódem resp. jeho šifrovanou variantou Y-kódem a navigační zprávou. Většina přijímačů pro civilní účely využívá pro měření pouze C/A kód. Tato frekvence je používána pro *přesnou polohovou službu* (angl. Precise Positioning Service - PPS) a umožňuje měřit zpoždění signálů při průchodu ionosférou. Je tedy využívána jen speciálně vybavenými přijímači. Informace čerpány z [HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996].

Oba kódy (C/A i P-kód) jsou v podstatě posloupnosti hodnot +1 a -1 a mají „pseudonáhodný“ charakter. Kdykoliv se znaménková hodnota kódu změní, nastane změna

fáze nosné vlny o 180° . Pseudonáhodná sekvence může připomínat náhodou posloupnost, přesto je vygenerována podle přesně stanoveného matematického algoritmu.



Obr. 3.4 Binární fázové klíčování nosné vlny [Path.cz, 2007]

Kódy ve vysílání se využívají z těchto důvodů [Path.cz, 2007]:

- Díky kódům lze jednoznačně identifikovat družice, které vysílají na stejné frekvenci (tzv. kódový multiplex).
- Při stejném odstupu od šumu roste s rychlostí kódu přesnost měření pseudovzdálenosti.
- Modulace nosné těmito kódy představuje přenos rozprostřeným spektrem, které zvyšuje odolnost proti aktivnímu rušení.
- Modulace kódy umožní dekódování signálu pouze těm příjemcům, kteří znají jejich strukturu.

3.2.1 Základní frekvence

Jak již bylo zmíněno výše, všechny družice GPS odvozují svoji frekvenci od tzv. základní frekvence, jejíž hodnota je $f_0 = 10,23$ MHz a ta je odvozována z frekvence atomových hodin uvnitř družice. Je nutno dodat, že je nastavena tak, aby se eliminovaly relativistické efekty, způsobené pohybem družic.

3.2.2 C/A kód

Jedná se v podstatě o pseudonáhodnou posloupnost 1023 nul a jedniček, která je svým charakterem blízka šumu (tzv. PRN kód), ale je jednoznačně definovaná. Každá družice má přiděleno přesně svoji vlastní posloupnost jedniček a nul – svůj vlastní C/A kód. Družice jsou pak identifikovány svým PRN číslem, unikátním identifikátorem každého dálkoměrného kódu. Je fázově modulován na frekvenci f_l signálu $L1$ s taktovací frekvencí 1,023 MHz

a 1 bit odpovídá vlnové délce 293,1 m. Doba trvání jedné periody *C/A-kódu* je 1 milisekunda. Jedná se o standardní kód signálu GPS přístupný všem uživatelům a to především proto, že rovnice pro dekódování C/A kódu jsou všeobecně známé a nejsou tajné. Informace čerpány z [Path.cz, 2007] [RAPANT, Petr. 2002].

3.2.3 P-kód (Y-kód)

Taktovací frekvence P-kódu je 10,23 MHz a 1 bit odpovídá vlnové délce 29,31 m. P-kód je součástí signálu *L1* a *L2*. Jeho perioda se opakuje za 267 dní a z celkové délky P-kódu $2,36 \cdot 10^{14}$ bitů je vybráno 32 variant kódů, jejichž délka je přesně 7 dní. Každá družice tedy vysílá jinou část z celkové délky P-kódu. Rovnice pro dekódování P-kódu jsou taktéž všeobecně známé a nejsou tajné, takže tento kód je přístupný i pro civilní aplikace, což do doby, než byl algoritmus P-kódu uvolněn a publikován neplatilo a byl využíván výhradně pro vojenské účely. P-kód umožňuje měřit zdánlivou vzdálenost mezi družicí a přijímačem s vyšší přesností než C/A kód a to ze dvou důvodů:

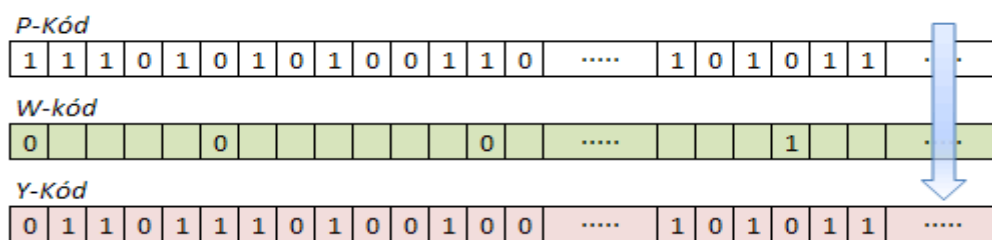
- díky použití rychlejšího a delšího kódu
- díky možnosti měřit na obou nosných frekvencích *L1* a *L2*, což umožňuje podstatně omezit vliv ionosférické refrakce.

Tabulka 1: Příspěvek jednotlivých zdrojů chyb k celkové chybě zdánlivé vzdálenosti UERE (tabulka byla publikována v roce 1991) [HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996]

Segment	Zdroj chyby	Podíl na UERE (1σ) [m]	
		C/A kód	P-kód
Kosmický	Stabilita kmitočtového normálu družice	3.0	3.0
	Predikce perturbací družice	1.0	1.0
	Jiný	0.5	0.5
Řídicí	Chyba modelu predikce efemerid	4.2	4.2
	Jiný	0.9	0.9
Uživatelský	Ionosférická refrakce	5.0 – 10.0	2.3
	Troposférická refrakce	2.0	2.0
	Šum a rozlišovací schopnost přijímače	7.5	1.5
	Vícecestné šíření signálu	1.2	1.2
	Jiný	0.5	0.5
UERE (1σ) celkem [m]		10.8 – 13.9	6.6

P-kód může být metodou *A-S* (Anti-Spoofing) zakódován pomocí *W-kódu* na *Y-kód*, čímž lze zamezit plnému využití systému GPS. Často se pro označení tohoto kódu používá označení *P(Y)-kód*. Nahrazení *P-kódu* *Y-kódem* se používá pouze v obdobích vážnějších vojenských krizí.

Čerpáno z [Path.cz, 2007],[HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996].



Obr. 3.5 Princip zakódování P-kódu pomocí W-kódu[Path.cz, 2007]

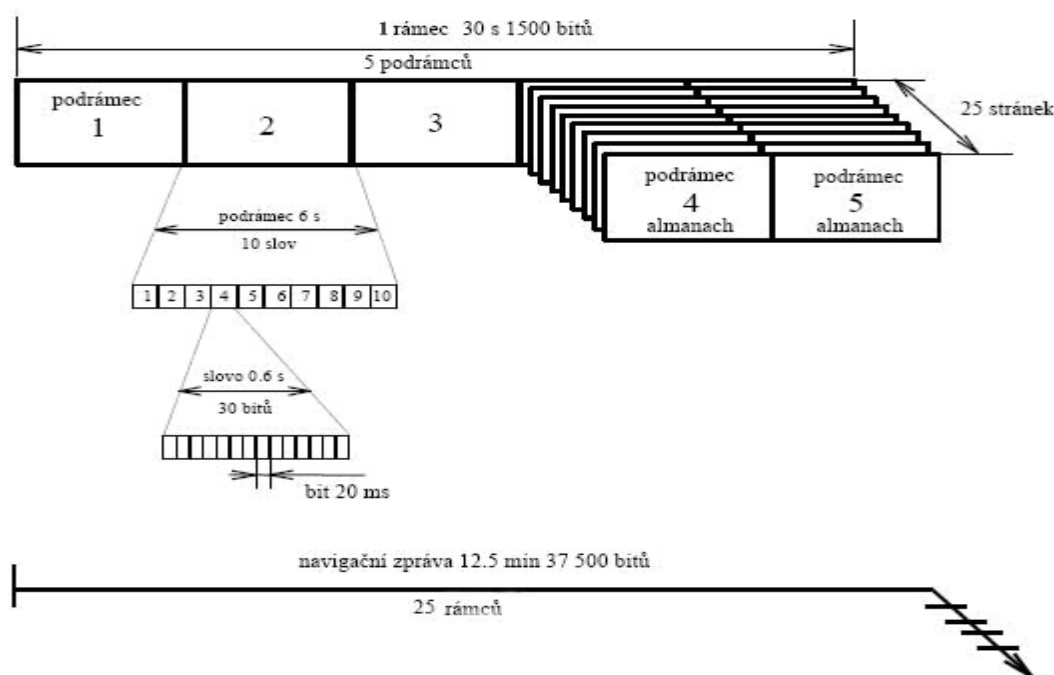
3.2.4 Navigační zpráva

Každá družice vysílá datový řetězec nazývaný *navigační zpráva*. Navigační zpráva o obsahu 37 500 bitů je rychlostí 50 bitů za sekundu vysílána každou jednotlivou družicí GPS a je součástí obou signálů *L1* a *L2*. Navigační zpráva obsahuje jednak data vztahující se k dané družici, ale i některé informace o ostatních družicích, například:

- čas odvysílání zprávy,
- klíčové slovo pro přístup k *P (Y)-kódu*,
- korekci hodin,
- efemeridy a informaci o technickém stavu jak vysílající družice, tak i ostatních družic,
- almanach,
- model ionosféry a koeficienty pro výpočet času *UTC*.

Na základě údajů získaných z navigační zprávy lze spočítat přesnou polohu družice a přesný čas odeslání přijaté sekvence dálkoměrného kódu. Dále můžeme vypočítat přibližné korekce na ionosférickou refrakci v případě, že není prováděno dvoufrekvenční měření.

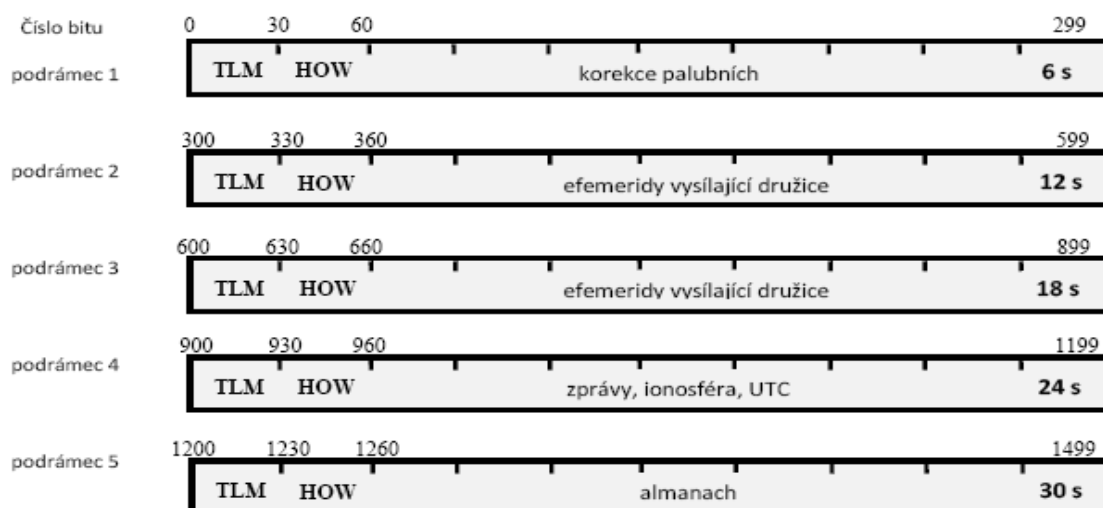
Kompletní zpráva obsahuje 25 rámců (Frame). Každý rámeček obsahuje 1 500 bitů, trvá 30 s a je rozdělen na pět 300bitových podrámečků (Subframe). Každý podrámeček trvá 6 s a obsahuje deset 30bitových slov (Word). Jedno slovo trvá 0,6 s. Doba vysílání celé navigační zprávy je tedy 12,5 min. Každý podrámeček má 25 možných významů, které nazýváme stránka. Podrámečky 1 až 3 mají jednu stránku, tj. v každém rámečku se opakují stejné údaje každých 30 s. Podrámečky 4 a 5 mají 25 stránek s jiným obsahem, tj. údaje každé stránky se opakují jen jednou v navigační zprávě každých 12,5 minuty. Čerpáno z [Path.cz, 2007][HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996]. Data obsažená v navigační zprávě jsou za normálních okolností platná po dobu 4 hodin.



Obr. 3.6 Struktura navigační zprávy [Path.cz, 2007]

Obsah navigační zprávy

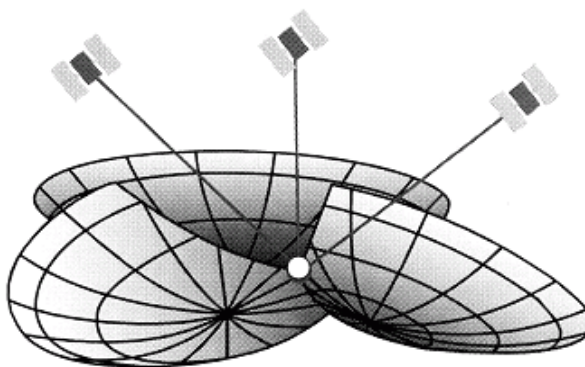
Každý podrámec začíná slovy *TLM* (Telemetry Word) a *HOW* (Handover Word), které mají stejný význam v každém podrámci. *TLM* obsahuje synchronizační slovo a některé diagnostické zprávy řídicího segmentu. *HOW* obsahuje identifikaci podrámce a pořadí následujícího podrámce od počátku GPS-týdne. *První podrámec* obsahuje číslo GPS-týdne, předpověď přesnosti určení pseudovzdálenosti (*URA*), indikátor zdraví družice, koeficienty pro modelování korekcí palubních hodin příslušné družice ap. *Druhý a třetí podrámec* obsahují palubní efemeridy vysílající družice. Z těchto efemerid se pak počítá poloha družice. *Čtvrtý i pátý podrámec* obsahují 25 stránek. Tyto stránky jsou obsahem stejné u všech družic. Část stránek 4. podrámce je rezervována pro vojenské využití. Ostatní stránky tohoto podrámce obsahují informace o ionosféře, almanach (předpokládané efemeridy všech družic) a některé další údaje. Stránky 5. podrámce obsahují hlavně almanach a zdravotní stav družic. [Path.cz, 2007]



Obr. 3.7 Struktura a obsah rámců navigační zprávy [Path.cz, 2007]

3.3 Principy měření

Systém GPS je typickým představitelem určování polohy na základě *dálkoměrného měření*. Jak již bylo uvedeno, systém GPS je pasivní, tudíž přijímač určuje svoji vzdálenost vždy k několika družicím navigačního systému a svoji polohu pak stanoví protínáním, viz Obr. 3.8. Určování vzdáleností přijímače od družic lze provádět na základě kódových měření, fázových měření a Dopplerovských měření.



Obr. 3.8 Stanovení polohy protínáním [Geoinformatika, 2006]

3.3.1 Kódové měření

Základním principem kódových měření je určování vzdáleností mezi přijímačem a družicemi. Běžně se k tomuto účelu využívají tzv. dálkoměrné kódy vysílané jednotlivými družicemi. Dálkoměrné kódy jsou zjednodušeně řečeno přesné časové značky, umožňující přijímači určit čas, kdy byla odvysílána kterákoliv část signálu vysílaného družicí. Přijímač pracuje tak, že ve vstupním signálu přicházejícím z antény identifikuje dálkoměrný kód

příslušné družice, zjistí čas odeslání a přijetí jedné sekvence kódu a ze zjištěného časového rozdílu t_i určí vzdálenost mezi přijímačem a družicí d_i podle jednoduchého vztahu:

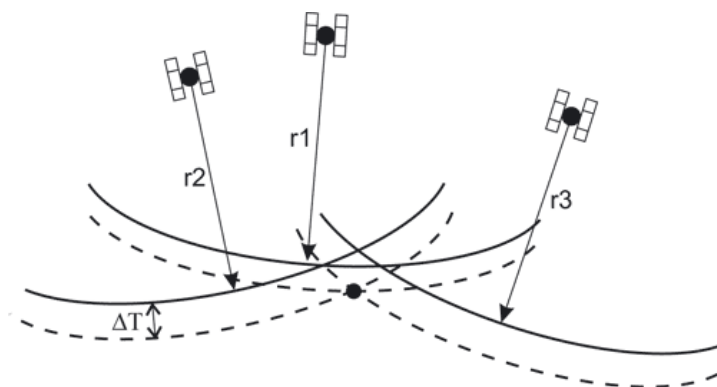
$$d_i = t_i \cdot c \quad (3)$$

kde c ... rychlost šíření radiových vln.

Jelikož nejsou hodiny přijímače zcela synchronní se systémovým časem družicového navigačního systému, je časový rozdíl t_i zatížen chybou hodin přijímače. Při výpočtu vzdálenosti d_i nemůžeme určit přesnou vzdálenost přijímače od družice, ale jen tzv. *vzdálenost zdánlivou*. Informace čerpány z [RAPANT, Petr. 2002].

Určování absolutní polohy přímo v terénu

Absolutní poloha jednoho GPS přijímače v terénu se určuje pomocí zdánlivých vzdáleností získaných kódovými měřeními. Na Obr. 3.9 je zobrazen způsob určení polohy. Čárkovaně je zobrazeno ideální měření, plnou čarou pak reálné. Dochází k časové odchylce vzorku ΔT . Z jednoho změření zdánlivé vzdálenosti jsme schopni určit, že přijímač se nachází někde na kulové ploše se středem v družici a poloměrem r_i který se rovná zdánlivé vzdálenosti mezi přijímačem a družicí. Stejná měření provedeme i k dalším dvěma družicím. Tím se nám plochy protnou a v jejich protnutí se nachází přijímač. V případě ideálního měření se plochy protnou v jednom bodě. U reálného pak vzniká oblast, kde se přijímač může nacházet. Proto je potřebná ještě čtvrtá družice, která měří časový posun hodin přijímače a tím se provádí další korekce při určování přesné polohy. Chyba určení polohy pomocí GPS pro navigační účely je max. 6m. Pro přesnější měření, například v armádě je to 60cm. [BABČANÍK, Jan. HW.cz, 2006]



Obr. 3.9 Určení polohy přijímače [BABČANÍK, Jan. HW.cz, 2006]

Probíhající výpočty při každé komunikaci přijímače se satelitem lze zjednodušeně popsat vztahem:

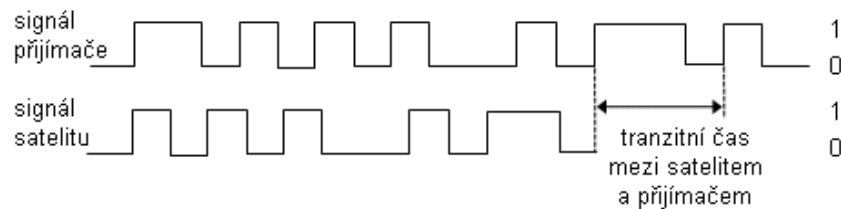
$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{is})^2 + (y_i - y_{is})^2 + (z_i - z_{is})^2} = P_{RS} + T + E_S, \quad i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

kde d_i je vzdálenost antény přijímače od i -tého satelitu, x, y, z určované souřadnice, x_S, y_S, z_S souřadnice satelitu, které se získají z vysílaných efemerid (údajů o drahách satelitů daného systému), P_{RS} je tak zvaná pseudovzdálenost mezi přijímačem a satelitem, T časová chyba přijímače a E_S součet všech chyb systému satelitní navigace. Vzdálenost lze určit jako

$$d_i = t_{di} \cdot c \quad (5)$$

kde t_{di} je doba potřebná k tomu, aby signál vyslaný z i -tého satelitu dosáhl přijímače, c je rychlost šíření elektromagnetických vln.

Družice tedy vysílají signály a uživatelský přijímač zjišťuje čas jejich příjmu. Z doby t_{di} , která uplynula mezi vysláním a příjmem signálu (Obr. 3.10), přijímač automaticky vypočte vzdálenost d_i k satelitům. Z nich a z polohy satelitů v daném okamžiku je určena poloha uživatele. Polohu satelitů zjistí z vysílaných parametrů - efemerid.



Obr. 3.10 Korelace signálu satelitu a přijímače [Geoinformatika]

Stanovení polohy by bylo jednoduché, kdyby byla synchronní časová základna (tj. hodiny) systému a uživatele. Časová základna uživatelského přijímače je posunuta o neznámý časový interval Δt , který lze přepočítat na vzdálenost

$$b = c \cdot \Delta t \quad (6)$$

K neznámým souřadnicím uživatele přibývá neznámá b , a proto pro výpočet polohy jsou potřebné čtyři rovnice

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = d_i = (t_{mi} + \Delta t) \cdot c = D_i + b, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

Měření se provádí tak, že je generována kopie signálu vysílaného zvolenou družicí. Tato kopie se zesynchronizuje s přijímaným signálem a stanoví se posun t_{mi} , počátku kopie

k počátku své časové základny. Konečně se měřený čas přepočte na vzdálenost D_i („pseudovzdálenost“). Provede-li se měření ke čtyřem satelitům, jsou k dispozici všechny potřebné údaje pro řešení soustavy rovnic. Hledané souřadnice se určují na geometrickém elipsoidu jako modelu geoidu. Americký systém používá elipsoid WGS 84, ruský systém elipsoid PZ-90. Příklady referenčních elipsoidů uvádí Tabulka 2. Převzato z [Geoinformatika].

Tabulka 2 Vybrané referenční elipsoidy [Geoinformatika]

název	poloosa (m)	1/zploštění
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
Fischer 1960	6378166.0	298.3
GRS 1975	6378140.0	298.257
WGS 84	6378137.0	298.257223563

Určování relativní polohy (DGPS)

Je taktéž založeno na kódovém měření, které je určitým způsobem opravováno (korigováno). U tohoto druhu určování polohy je zapotřebí minimálně dvou GPS aparatur, resp. GPS přijímače a referenční stanice. Určování relativní polohy může být aplikováno přímo v reálném čase při měření, nebo až při následném zpracování všech nashromážděných dat třeba v kanceláři (postprocessing). Přesnost určování relativní polohy je výrazně přesnější. V případě použití dálkoměrného kódu standardní přesnosti může být přesnost určování relativní polohy lepší než 1m, v případě použití dálkoměrného kódu vysoké přesnosti se může přesnost této metody zvýšit až na úroveň decimetrů. Více o metodě DGPS je v kapitole 3.5.2.

3.3.2 Fázové měření

Vzdálenosti mezi družicí a GPS aparaturou jsou určovány z měření nosné vlny GPS signálu. Při fázovém měření nesmí dojít k přerušení signálu, protože jakékoliv i krátkodobé přerušení signálu znamená znemožnění určení správného celočíselného násobku vlnové délky (ambiguity) a následná nutnost opakování měření. Tato měření jsou ve srovnání s kódovými měřeními výrazně přesnější, zvláště pak při využití více nosných vln, které umožní provádět korekce zkreslení signálu při průchodu vrstvami atmosféry. Nevýhodou je poměrně složité a někdy zdlouhavé zjištění počtu celých vln před počátkem měření a nutnost jejich opakování zjištění v případě ztráty signálů družic.

3.3.3 Dopplerovské měření

Jsou založena na fyzikálním principu Dopplerova jevu. Dopplerův jev popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného signálu oproti vysílanému signálu, pokud se přijímač nebo vysílač pohybuje. Jedním z nejběžnějších příkladů Dopplerova jevu je změna výšky tónů vydávaných sirénou na vozidle projíždějícím okolo pozorovatele. Dopplerova jevu využívá také řada měřicích přístrojů a zařízení, např. radary pro měření rychlosti vozidel nebo lékařské sonografy. Přestože nic nebrání tomu, aby kterákoliv z těchto měření byla použita pro určování polohy, v praxi se k tomuto účelu používají jen první dvě (kódové, fázové), třetí (Dopplerovské) se využívá především při stanovování rychlosti pohybu přijímače. V běžných turistických a navigačních přijímačích se používají pro určování polohy jen kódová měření. Fázová měření jsou doménou aplikací vyžadujících přesnější polohovou přesnost, například využití GPS právě pro geodetické účely. [HOJGR, Radek; STANKOVIČ, Jan. 2007]

3.4 Faktory ovlivňující přesnost systému GPS a jejich zdroje

Přesnost určování polohy a času pomocí systému GPS ovlivňují následující faktory rozděleny do čtyř základních skupin [Path.cz, 2007]:

- chyby vznikající v řídicím segmentu,
- chyby vznikající v kosmickém segmentu,
- chyby vznikající při šíření signálu,
- chyby vznikající v uživatelském segmentu.

Případně podrobnější členění [RAPANT, Petr. 2002]: řízení přístupu k signálům z družic, stav družic, rozsah přesnosti měření, poměr signál/šum, vícecestné šíření, počet viditelných družic, geometrické uspořádání viditelných družic, typ přijímače, pečlivost přípravy plánu měření, platnost efemerid, přesnost určení efemerid, přesnost hodin na družicích, vliv ionosféry a troposféry, chyba hodin přijímače, způsob měření a vyhodnocování. Některé z faktorů si popíšeme podrobněji v následujících kapitolách.

3.4.1 Řízení přístupu k signálům z družic

Jelikož je systém GPS především vojenským navigačním systémem, od jeho počátku jsou v něm zabudovány mechanismy, které umožňují znepřístupnění některých služeb neautorizovaným uživatelům, nebo záměrné zhoršení signálu a tím jeho přesnosti.

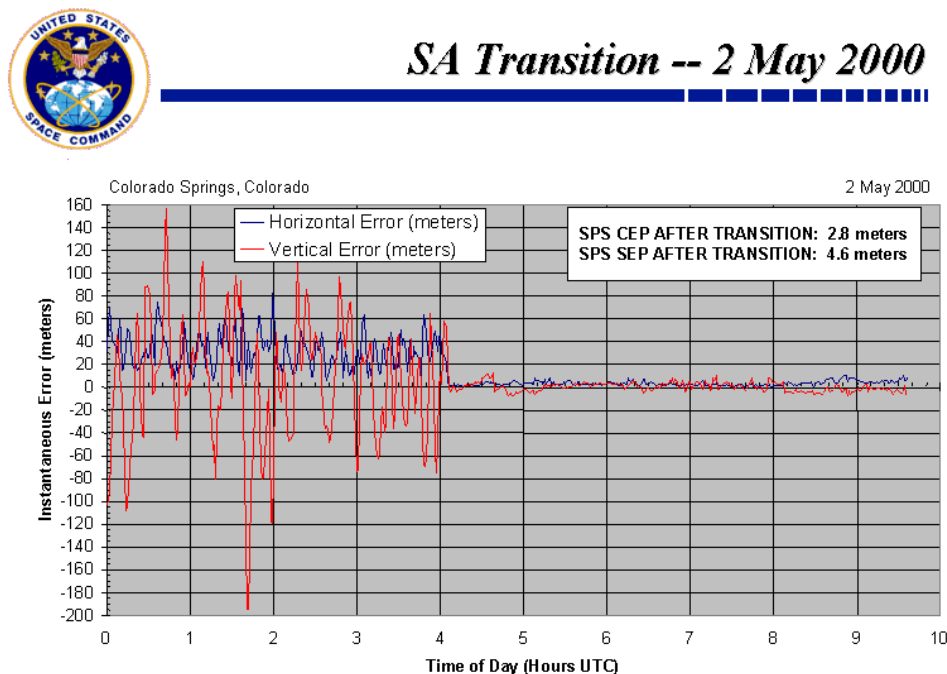
Takové mechanismy jsou dva [RAPANT, Petr. 2002]:

- Selektivní dostupnost (angl. Selective Availability - SA)
- Anti-Spoofing (A-S)

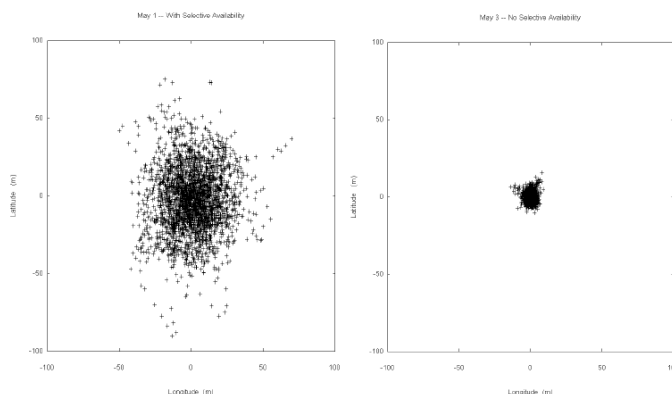
Selektivní dostupnost

Je to záměrné zavádění proměnlivých chyb do signálů vysílaných družicemi GPS a má za následek zhoršení kvality přesnosti polohy (až 100 m). Důvodem takového zavádění chyb bylo zajištění bezpečnosti Spojených států amerických před případným zneužitím systému GPS ve prospěch nepřátel USA. Tato služba byla aktivována v roce 1990 a vyvolala velkou bouři nevole a nekonečných diskuzí. V roce 2000 byla služba SA plně deaktivována a po tomto kroku stoupla přesnost GPS po celém světě až pětinasobně.

Na obrázku Obr. 3.11 je vidět zřejmý pokles pravděpodobné kruhové chyby (CEP) standardní polohové služby na 2,8 m a pravděpodobné sférické chyby (SEP) na 4,6 m. Na dalším obrázku Obr. 3.12 je zase dobře vidět rozdíl v přesnosti GPS před a po vypnutí této služby.



Obr. 3.11 Vývoj navigační chyby GPS při přechodu na vypnutou službu SA [RAPANT, Petr. 2002]



Obr. 3.12 Ukázka přesnosti GPS před a po vypnutí SA [RAPANT, Petr. 2002]

Anti-Spoofing

Slovo Spoofing v překladu znamená, že by nepřítel mohl vysílat klamné signály, které by napodobovaly navigační signály družic GPS, ale měly by zcela jiný význam a to cíleně ovlivňovat určování polohy ve svůj vlastní prospěch. Aktivací Anti-Spoofingu je průběžně pomocí W-kódu šifrován P-kód (pak hovoříme o Y-kódu) a tím je výrazně omezena možnost manipulace se signály GPS nepřitelem. Aktivován byl 31. 1. 1994 a od té doby byl prakticky P(Y)-kód nedostupný. A-S byl občas na krátkou dobu vypnutý, ale pro civilní využití to nemělo prakticky žádný vliv.

3.4.2 Poměr signál/šum

Čím nižší hodnota, tím nižší je užitečný signál v šumu a tím pádem zaniká. Signály družic jsou relativně slabé a při dalším oslabení (např. zelení, nebo nízkou polohou družice nad horizontem) může mít přijímač problémy s jejich rozpoznáním a tím citelné zhoršení přesnosti určování polohy.

3.4.3 Vícecestné šíření a stínění signálu

Kvalita signálu může být výrazně snížena stíněním nebo odrazem signálů od objektů (např. budova, vodní plochy apod.). V případě stínění signálu se může stát, že GPS přijímač signál vůbec nezachytí a při vícecestném šíření se signál šíří k přijímači více cestami (multipath) a anténa přijímače pak přijímá signály dva:

- přímý signál z družice
- nepřímý (odražený) signál

Interference těchto dvou signálů má za následek chybné určení zdánlivé vzdálenosti mezi přijímačem a družicí. Velikost této chyby je pak závislá na schopnosti antény (hardwaru, filtrace) přijímače eliminovat vliv odražených signálů. [Path.cz, 2007]

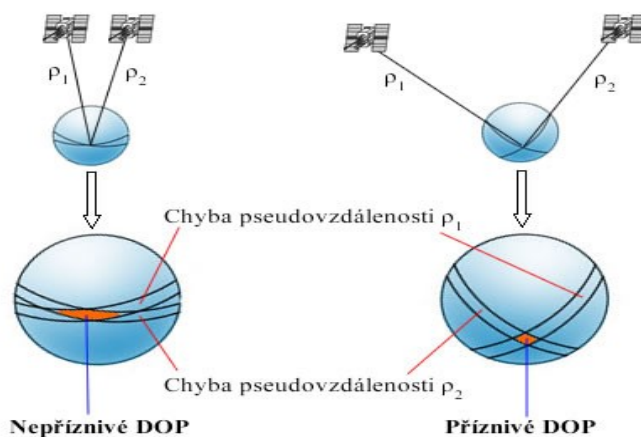


Obr. 3.13 Ukázka vícecestného šíření signálu [Path.cz, 2007]

3.4.4 Geometrické uspořádání viditelných družic

Vyjadřuje se pomocí faktoru označovaného *DOP* (*Dilution of Precision*). Podle obrázku Obr. 3.14 velmi zjednodušeně předpokládejme, že k určení polohy uživatele jsou potřebné dvě měřené vzdálenosti ke známému bodu (poloha družic). Velikost chyby měření je vyjádřena šířkou pásu. Poloha určovaného bodu leží v průniku obou pásů a pak přibližně představuje faktor *DOP* (oranžová plocha). Je zřejmé, že obsah této plochy bude nejmenší, resp. přesnost měření nejvyšší, pokud se pásy budou protínat pod úhlem 90° .

Se zmenšováním/zvětšováním tohoto úhlu se bude rovněž snižovat přesnost určení polohy, viz Tabulka 3. Obdobně lze tyto zákonitosti aplikovat pro třírozměrný prostor. [Path.cz, 2007]



Obr. 3.14 Geometrická představa DOP [Path.cz, 2007]

Tabulka 3 Význam hodnot DOP

Hodnota DOP	Hodnocení	Popis
1	Ideální	Nejvyšší možná úroveň spolehlivosti, má být použita pro aplikace vyžadující nejvyšší možnou přesnost po celou dobu měření.
1-2	Vynikající	Dostatečně přesná poziční měření, použitelná i pro citlivé aplikace
2-5	Dobrý	Poziční měření může být použito pro výsledky.
5-10	Průměrný	Poziční výsledky mohou být použity pro výpočty, ale doporučuje se lepší výhled na oblohu
10-20	Uspokojivý	Nízká spolehlivost, pouze pro hrubý odhad
> 20	Špatný	Nepřesné měření

Parametrů DOP je několik a indikují ovlivnění přesnosti různých parametrů [RAPANT, Petr. 2002]:

- **relativní** (RDOP) – relativní chyba polohy,
- **polohové** (PDOP) – horizontální a vertikální měření,
- **horizontální** (HDOP) – horizontální měření,
- **vertikální** (VDOP) – měření výšky,
- **časové** (TDOP) – posun hodin.

3.4.5 Pečlivost přípravy plánu měření

Používá se zvláště v případě geodetických měření a má přímou návaznost na geometrické uspořádání viditelných družic. Pomocí software lze určit viditelnost družic v daném místě v předpokládanou dobu a vhodně tak měření přizpůsobit např. podmínkám terénu, nebo v případě měření v úzkém místě.

3.4.6 Stabilita hodin družice

Ovlivňuje frekvence generovaných nosných vln a kódů, jak už bylo zmíněno v kapitole 3.3.1. Chyba způsobená stabilitou hodin by neměla přesáhnout 6,5 m po 95% doby při použití služby PPS. Při použití SPS se tato chyba zvyšuje. Při zachování stability hodin je rovněž důležitý časový rozdíl mezi hodinami družice a hodinami GPS přijímače. Například odchylka jedné mikrosekundy způsobí chybu měření 300 m. Chybu v časovém rozdílu hodin přijímače a družice lze aproximovat podle vzorce [Path.cz, 2007]:

$$Re = To \cdot c \quad (8)$$

$c \dots$ rychlost světla = 299792458 m/s

Re...range error

To...time error

1 mikrosekunda = $1\mu\text{s} = 10^{-6}$ s

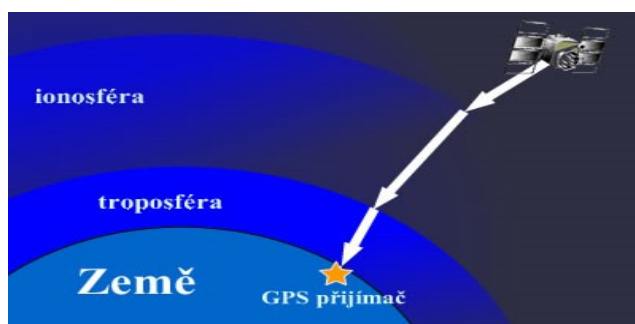
a tedy

$$\text{Re} = \text{To} \cdot c = 10^{-6} \cdot 299792458 = 299,79 \approx 300\text{m} \quad (9)$$

3.4.7 Vliv ionosféry a troposféry

Ionosféra je součástí atmosféry a obsahuje velké množství volných elektricky nabitých částic – elektronů a iontů. Právě při průchodu touto vrstvou dochází ke zpoždění signálů z družic tzv. chyba *ionosférické refrakce*, která může být ve vertikálním směru až 30 m. Pokud je družice přijímaného signálu nad horizontem, pak je tato chyba i třikrát větší. Vliv ionosféry je závislý na kmitočtu procházejících vln, takže lze její vliv vhodným uspořádáním měření eliminovat (proto GPS družice vysílají na dvou frekvencích L1 a L2) [RAPANT, Petr. 2002]. Zpoždění signálu je způsobeno především elektrony a jejich počet závisí na sluneční aktivitě. Proto je výsledná chyba větší právě přes den, v noci je chyba pak menší.

Vliv troposféry se označuje jako *troposférická refrakce*. Ve vertikálním směru může chyba dosahovat hodnoty až 2,3 metru, ale pokud se nachází družice vysílající signál na horizontu, jako tomu bylo v případě ionosférické refrakce, může být výsledná chyba až desetkrát větší. Vliv troposféry lze poměrně přesně vypočítat (s přesností na centimetry) při znalosti atmosférických podmínek (teplota, tlak, vlhkost vzduchu) v místě měření. [Path.cz, 2007]



Obr. 3.15 Vliv ionosféry a troposféry na přesnost signálu [Path.cz, 2007]

3.5 Zpřesňování GPS

Jak už bylo zmíněno, autonomní měření pomocí GPS je vhodné především pro automobilovou, či turistickou navigaci a jeho přesnost se uvádí v jednotkách metrů. Není ovšem vhodné pro přesné měření. Pro tyto účely se musí využívat metody zpřesňující měření GPS a existují dva druhy způsobu zpracování těchto měření:

Následné zpracování – postprocessing

Pokud není nezbytně nutné mít přesná data o poloze přímo na místě měření, vystačíme si s tzv. postprocessingem. Stačí, aby byla referenční stanice připojena k PC, který je připojený k telefonu vybaveného službou BBS (přenos dat po telefonu), případně je možné využít Internetu. Pak se stačí s touto službou spojit a přenést si korekční údaje pro časový úsek, kdy jsme prováděli měření. Pak již stačí zpracovat společně data z referenční stanice, data z terénu a získat tak potřebné výsledky.

Zpracování v reálném čase

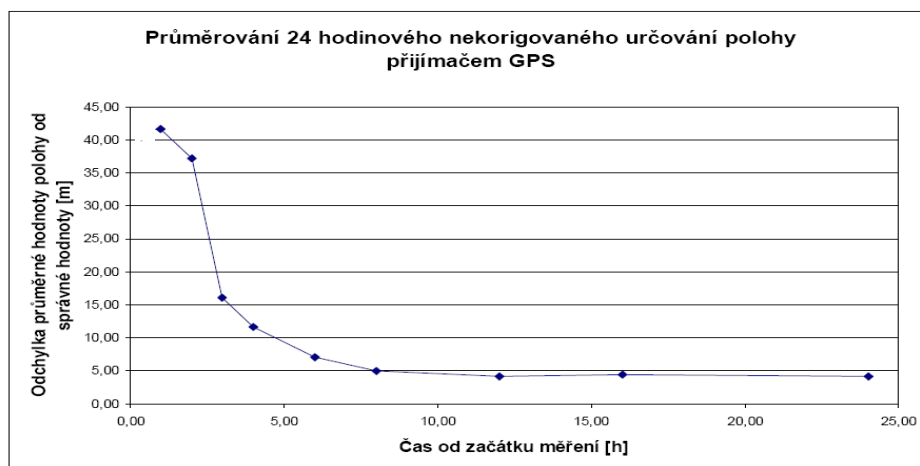
Jestliže potřebujeme přesné výsledky přímo v terénu, musíme využít metodu zpracování v reálném čase, což znamená, že musíme být nějakým komunikačním kanálem přímo napojeni na referenční stanici. Pro tyto případy se většinou používá komunikační protokol ve formátu RTCM SC-104. Pro přenos diferenčních korekcí mohou být použity například tyto kanály [RAPANT. Petr, 2002]:

- **rádiové vysílače:**
 - KV – mají poměrně velký dosah, ale nevýhodou je potřeba velké antény
 - VKV a UKV – používají malé a lehké antény, ale nevýhodou je, že mezi přijímači musí být přímá viditelnost. V případě UHF je další nevýhodou omezený dosah (několik km). Výrobci však nabízejí pro případ potřeby i retranslační stanice, umožňující navázat spojení i v případě, že podmínka přímé viditelnosti splněna není.
 - Pro vlastní spojení je nezbytné mít dva digitální radiomodemy (v podstatě vysílačky se zabudovanými modemy s přenosovou rychlostí obvykle 9600 Bd, což pro většinu DGPS stačí). Jeden se připojí k referenční stanici a ta se nastaví do módu vysílání, druhý se připojí k mobilní stanici a ta se nastaví do módu příjem.

- **bezdrátové datové sítě**
- **mobilní telefony** – v současné době se sítě mobilních telefonů GSM stávají široce akceptovaným médiem pro přenos diferenčních korekcí; jejich výhodou je snadná dostupnost, akceptace ze strany výrobců přijímačů a doplňkového technického vybavení a velice dobré pokrytí území signálem; diskutabilní jsou provozní náklady.
- **klasický telefon** – zde jsou problémy s připojením.
- **Počítačové sítě jako je Internet** – v případě pevného spojení platí stejná poznámka, jako u klasického telefonu a v případě připojení přes mobilní telefon zase platí výhrady platné pro toto připojení.

3.5.1 Průměrování

Je to velmi jednoduchý postup, jak docílit přesného měření, není závislý na diferenčních korekcích a lze měřit pouze jediným přijímačem. Problém je ovšem v nutnosti opakování několika měření a tedy potřeba dlouhodobého měření na jednom bodě. Princip je ale velmi jednoduchý: na bodě, jehož polohu chceme určit, provedeme mnohahodinové měření s frekvencí vzorkování 1 sekunda a z naměřených dat spočítáme průměrnou hodnotu. Na Obr. 3.16 jde vidět, že po osmi hodinách měření již přesnost určení polohy nijak výrazně nestoupá. Toto měření bylo provedeno v době, kdy byla zapnuta funkce selektivní dostupnosti (SA). V dnešní době, kdy je tato funkce již vypnutá, by byl časový úsek měření daleko menší.



Obr. 3.16 Grafické znázornění odchylky průměrné hodnoty polohy od skutečné polohy v závislosti na době měření (při zapnutém SA) [RAPANT, Petr. 2002]

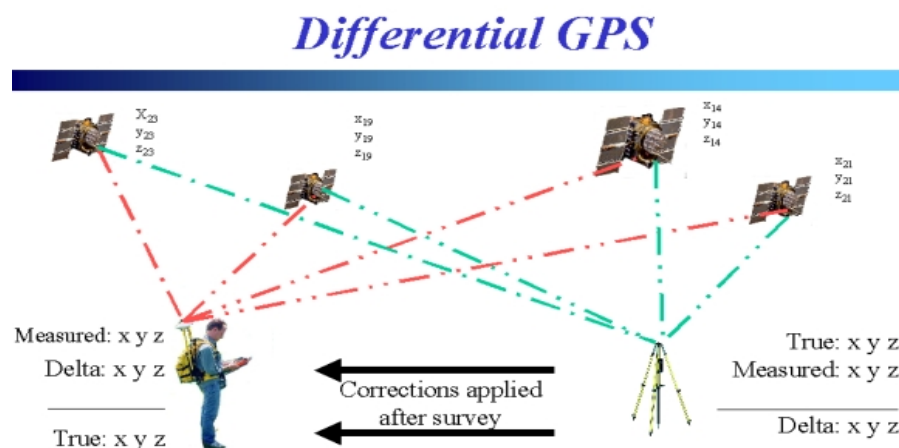
3.5.2 Diferenční GPS (DGPS)

Tato metoda je založena na relativním určování polohy pomocí referenčních stanic a umožňuje významné zvýšení přesnosti určování polohy v reálném čase. Původně se diferenční měření provádělo a vyhodnocovalo až dodatečně, proto se tato metoda nepoužívala pro potřeby navigace (v reálném čase). Po zkušenostech s těmito postupy se prokázali její výhody, a proto se výrobci přijímačů rozhodly do svých zařízení zabudovávat komunikační kanály pro vstup korekcí z referenčních stanic a umožnit tak korekce v reálném čase. Po celém světě se následně začaly budovat rozsáhlé sítě referenčních stanic a s nimi spojené služby šíření korekcí ať už přes internet, nebo RDS apod.

Diferenční korekce

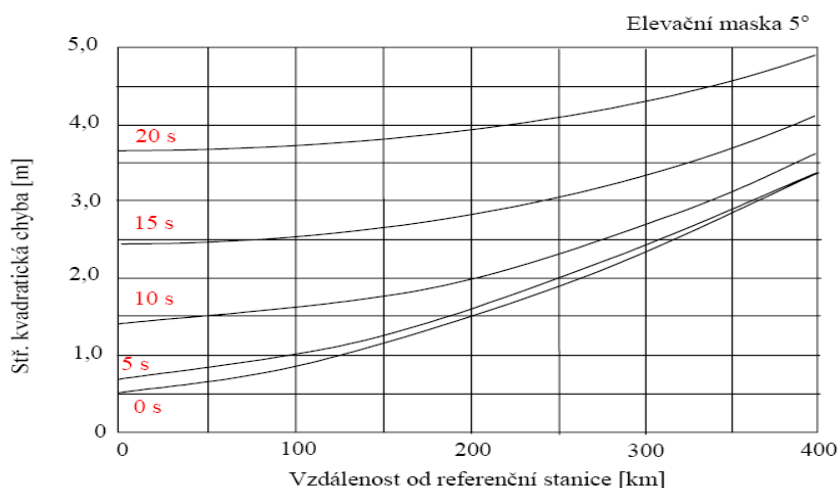
Diferenční GPS poskytuje uživatelům diferenční korekce pro opravu určování polohy jejich GPS přijímačů. Diferenční korekce můžeme rozlišit na korekce polohy a korekce zdánlivých vzdáleností. [RAPANT, Petr. 2002] [HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996]

Korekce polohy – Korekce se určují za pomoci tzv. *referenčního přijímače*, který je umístěn na místě s předem známými souřadnicemi (získanými např. geodetickým měřením), které jsou neměnné. Z měření referenčního přijímače je možno vypočítat odchylku (chybu) přijímačem určené polohy od polohy skutečné a tyto odchylky dále přenášet jako tzv. *korekce* do mobilního GPS přijímače a použít je pro opravu jeho následného měření viz Obr. 3.17. Předpokládá se, že oba přijímače jsou zatíženy stejnou geometrickou a časovou chybou, která se vyruší (odečte).



Obr. 3.17 Princip aplikace korekčních dat z referenční stanice [National Geodetic Survey, 2011]

Korekce zdánlivých vzdáleností – referenční stanice počítá korekce pro každou ze zdánlivých vzdáleností. Má mnohem větší nároky na konstrukci referenční stanice, protože ty musí v takovém případě vypočítat skutečnou vzdálenost k družici (poloha referenční stanice je přesně daná a polohu družice lze určit z efemerid), dále z přijatých signálů vypočítat zdánlivou vzdálenost, určit korekci na odchylku hodin přijímače a teprve potom lze určit vlastní opravu na zdánlivou vzdálenost. Ze všech operací, které musí referenční stanice vykonat je právě určení korekce na chybu hodin přijímače referenční stanice nejobtížnější. Lepší možností je připojit k referenční stanici atomové hodiny. Výrazně tím sice stoupne cena stanice, ale zkvalitní se určování korekcí. I v tomto případě však platí, že čím dále jsme od referenční stanice, tím více klesá přesnost korekcí, viz Obr. 3.18.



Obr. 3.18 Graficky znázorněna závislost celkové chyby určování polohy bodu na vzdálenosti od referenční stanice a na časovém intervalu aktualizace diferenčních korekcí. [HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. 1996]

Referenční stanice

Referenční stanice je GPS přijímač s pevně danými a neměnnými souřadnicemi, schopná díky svému programovému vybavení, sledovat všechny viditelné družice a počítat pro ně korekční údaje. Dříve byly referenční stanice budovány na bázi přesných GPS přijímačů, vybavených počítačem pro výpočet diferenčních korekcí v reálném čase a ty byly publikovány dále prostřednictvím vysílače nebo služby BBS (přenos dat po telefonu), v současné době to je internet. Stanice byly dvanáctikanálové, aby byly schopné komunikovat se všemi viditelnými družicemi a díky tomu pro ně poskytovat korekce.

Dnešní moderní referenční stanice jsou velmi komplikované, ale zato jsou konstruovány jako redundantní, s externími (atomovými) hodinami a jsou schopné poskytnout korekce k více polohovým systémům (GPS, GLONASS) současně.

Na území naší republiky vznikla vůbec první referenční stanice na půdě ČVUT Praha v roce 1995 pro experimentální provoz (viz [Radio.feld.cvut.cz. 1998] a [Radio.feld.cvut.cz. 2002]). Touto problematikou a problematikou systému GPS se již od 80. let zabývala Katedra radioelektroniky fakulty elektrotechnické.

Referenční stanice na půdě VŠB-TU Ostrava (VSBO)

Permanentní GNSS stanice VSBO je provozována Vysokou školou báňskou - Technickou univerzitou Ostrava ve spolupráci s operačním centrem VESOG Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického od roku 2004 a v roce 2007 byla zmodernizována. Stanice byla vybudována pro výukové účely a výzkumné projekty v oblasti určování polohy a navigace. Měření na stanici jsou též využívána pro sledování geodynamických pohybů v oblasti Ostravska a pro projekty v GPS meteorologii. Stanice je součástí i České sítě permanentních stanic pro určování polohy – CZEPOS a sítě TopNET.

Přijímač je napojen na staniční počítač a pomocí něj jsou pořizovány následující výstupy:

- Datové soubory ve formátu RINEX, obsahující data z družic GPS NAVSTAR a GLONASS v 1 sekundovém taktu v hodinových souborech. Tato data jsou v operačním centru využívána pro tvorbu všech odvozených typů dat.
- Proud dat v reálném čase v 1 sekundovém taktu ve formátu RTCM.

Pro archivaci jsou dále pořizovány:

- Datové soubory ve formátu TPS (binární formát Topcon Positioning System) v 1 sekundovém taktu v hodinových souborech.
- Datové soubory ve formátu RINEX z družic GPS NAVSTAR a GLONASS v 30 sekundovém taktu v denních souborech.



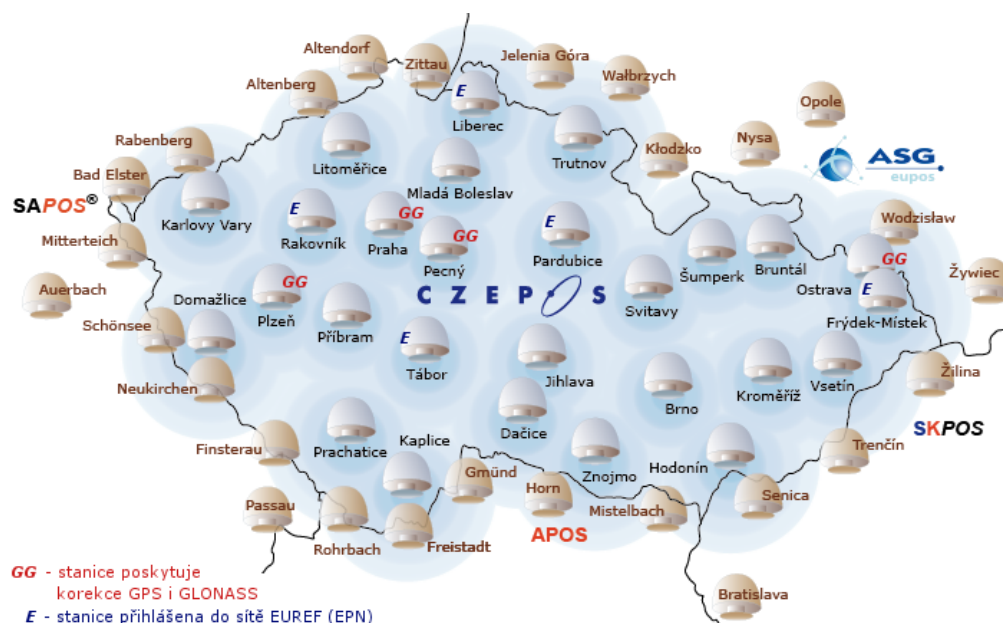
Obr. 3.19 Stanice VSBO a meteorologická čidla [VESOG. 2008]

Staniční počítač je umístěn společně s přijímačem Topcon v počítačovém centru VŠB-TUO. Přijímač je připojen ke staničnímu počítači sériovou linkou pro přenos real-time dat a USB linkou pro řízení přijímače a přenos dat do firemního software PC-CDU. Staniční počítač je přes lokální počítačovou síť VŠB-TUO připojen do akademické sítě CESNET. Informace byly čerpány z [VESOG. 2008].

Sítě referenčních stanic

Pod tímto pojmem chápeme seskupení jednotlivých referenčních stanic pevně umístěných na bodech o známých souřadnicích, které svá naměřená data odesílají do řídicího centra, kde se dále zpracovávají a distribuují k uživatelům. Každá ze stanic provádí nepřetržitě observace GPS signálů, které pravidelně každou vteřinu registruje. Pro geodetické účely jsou stanice rovnoměrně rozmístěny po zájmovém území v maximálních vzdálenostech cca 60 km, což plošně pro Českou republiku splňuje pouze síť CZEPOS. Síť CZEPOS využijí všichni uživatelé, kteří potřebují v reálném čase určovat pozici pevného či pohybujícího se stanoviště. Bohužel je placená.

Sítě referenčních GPS stanic usnadňují uživatelům práci. Není potřeba druhý GPS přijímač, který by museli umístit na bod se známými souřadnicemi, ale mohou přijímat korekce, ať už v reálném čase, či pro následné zpracování, z nejbližších referenčních stanic. [ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. 2011]



Obr. 3.20 Síť CZEPOS [ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. 2011]

3.5.3 Metoda RTK (Real Time Kinematic GPS)

RTK (Real Time Kinematic GPS) je podobné DGPS, ale pracuje s fázovými daty. Tato metoda se používá, pokud chceme získat výsledky s vysokou přesností přímo v terénu. K využití metody RTK je zapotřebí přesná dvoufrekvenční aparatura umožňující kódová i fázová měření a komunikačním kanálem (Internet, bezdrátové datové sítě atd.) musí být napojena on-line na referenční stanici. Metoda RTK umožňuje přenos kódových a fázových dat z referenční stanice do měřicí stanice v reálném čase, vyřešení ambiguit na měřické stanici (tzv. on the fly – OTF) a určení vektoru základny v reálném čase. Formát používaný při geodetickém měření metodou RTK je RTCM 2.x. Dosažitelná přesnost je řádově v centimetrech, závisí však na vzdálenosti přijímače od zvolené referenční stanice. Obecně opět platí, že s rostoucí vzdáleností se snižuje přesnost určení polohy. Metoda RTK je velmi složitá a obsahuje mnoho matematických výpočtů. Počítá se pomocí jednoduchých, dvojitých a trojitých diferencí. Více o této metodě a jejích principech se můžeme dozvědět například v [KAPLAN, Elliott, D. 2005] a [HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. 2001].

3.5.4 Pseudodružice

Jsou to pozemní vysílače, které se přijímači jeví jako další družice systému GPS a v některých případech umožňují dále zpřesňovat polohu GPS. Pomocí těchto stanic lze vybudovat přesný lokální navigační systém, ale má spoustu nevýhod:

- musí být vždy zajištěna přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem,
- vysoká cena vysílačů,
- maximální dosah nesmí překročit 50 km,
- musí být dodržena minimální vzdálenost mezi dvěma vysílači,
- musí být vymezena minimální vzdálenost přijímače od pseudodružice (v případě menší vzdálenosti hrozí nebezpečí zahlcení jeho vstupních obvodů silným signálem pseudodružice a tím přehlušení signálů vysílaných družicemi).

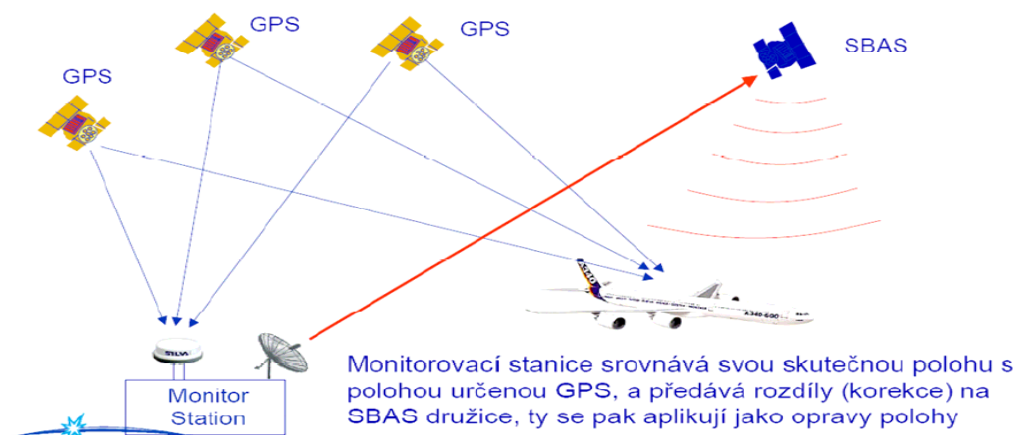
Naopak má i své výhody, jako je doplněk zvyšující robustnost klasických kódových měření, zlepšení diferenčních kódových a fázových měření a lze je použít v budovách, tunelech apod. Konceptně mohou být pseudodružice řešeny dvěma způsoby:

- samotný vysílač imitující družici GPS (kanál L1),
- vysílač spojený s referenční stanicí.

Při psaní textu o pseudodružicích byl použit zdroj informací [RAPANT, Petr. 2002].

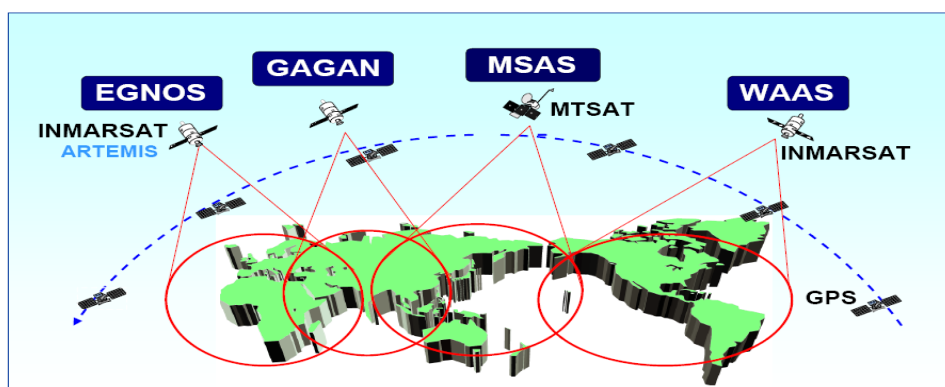
3.5.5 Rozšiřující systémy SBAS

Systém SBAS slouží jako systém pro šíření diferenciálních korekcí, umožňující zpřesnit výpočet pozice GPS. Je tomu tak díky zaváděním korekcí chyb vzniklé při měření dat především vlivy atmosféry (troposféra, ionosféra), přímo do přijímače GPS. Zatímco běžná přesnost GPS přijímače se při dobrém výhledu na oblohu pohybuje v rozmezí 7 - 10 metrů, s metodou SBAS se přesnost zvýší cca na 1 – 3 metry. Původně byl tento systém vyvinut pro letecké účely. Jedna z možností šíření signálu je znázorněna na obrázku viz Obr. 3.21.



Obr. 3.21 Princip systému SBAS

SBAS signál se přenáší bezplatně pomocí geostacionárních družic. Příjímač GPS musí ale tuto službu podporovat. Jedinou podmínkou je, aby byl signál pro dané území dostupný. Pro výpočet přesné pozice GPS přijímače je třeba výrazně delší doba, než pro běžné měření. Pro zpracování signálu a změření přesné pozice je třeba vyčkat cca 5 minut. SBAS signál je vysílán jednou družicí nad dílčím územím. Pro oblast Ameriky je používán název tohoto systému jako WAAS, v Evropě se používá název EGNOS, v Asii MSAS a pro oblast Indie to je GAGAN. Právě Evropský systém EGNOS bude klíčový pro nově budovaný navigační systém Galileo. [STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. 2006]



Obr. 3.22 Geografické rozdělení působnosti jednotlivých korekčních systémů v rámci SBAS

Systémy SBAS vznikly pro vyřešení následujících problémů navigačních systémů [Gama.fsv.cvut.cz. 2008]:

- nepřesné atmosférické korekce,
- multipath (vícecestné šíření signálu),
- chyby v určení polohy a korekce hodin,
- nevhodná konstelace družic,
- úmyslné zhoršení signálu (armáda),
- nízká přesnost určení polohy.

3.5.6 Hardwarové technologie (SiRF)

Jedná se o technologii, která zajišťuje mimořádně citlivý příjem GPS signálu a díky svým vlastnostem výrazně přispívá nejen k přesnějšímu určení polohy. Poslední generace čipů s touto technologií se nachází na většině moderních GPS přijímačů, bez ohledu na značku nebo typ výrobku. V některých případech jsou přijímače tak citlivé, že jsou schopné přijímat

signál i z nízkopodlažní budovy. Přijímače s touto technologií navíc můžou využít i metodu SBAS. Technologie SiRF má 3 hlavní výhody[*GPS Lodge. 2006*]:

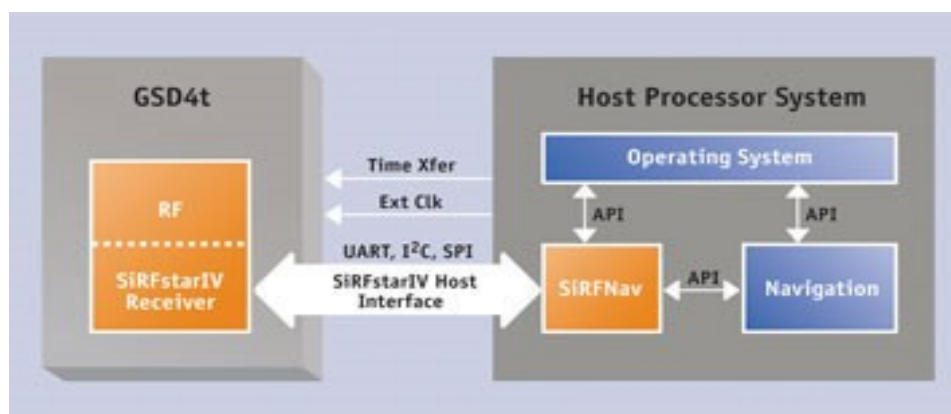
1. časově rychlejší určení (ustanovení),
2. vysoká citlivost pro lepší zamykání satelitních signálů v náročných oblastech se silným stíněním nebo hustou zástavbou (mrakodrapy),
3. nízká spotřeba pro delší výdrž baterie přijímače.

Add. 1) **Časově rychlejší určení:** Pokud je GPS přijímač zapnutý, potřebuje zjistit, kde se nachází stažením signálů z několika satelitů předtím, než zjistí, kde jste. Někdy to může být rychlejší, pokud byl GPS přijímač nedávno používán, můžeme to chápat tak, že jsme stále na stejném místě jako při posledním měření. Jedná se o tzv. „teplý start“.

„Studené starty“ trvají mnohem déle a to tehdy, pokud se zapne GPS přijímač několik stovek kilometrů od místa, kde byl zapnutý naposledy, nebo pokud by byl delší dobu vypnutý. Čipová sada SiRF má rychlejší určení polohy, protože má více korelátorů a proto může rychleji zjistit, kde se právě nachází.

Add. 2) **Vysoká citlivost:** Čipová sada SiRF je dobrá v držení signálu v místech, kde je právě signál slabý kvůli omezenému výhledu na oblohu a to díky tomu, že může sledovat signály až -159 dBm a má 200 000 korelátorů, což je ve srovnání s některými ostatními chipsety, které mají pouze několik tisíc korelátorů, větší hodnota.

Add. 3) **Nízká spotřeba:** Tato technologie je velmi efektivní z hlediska nízkého odběru energie a delší životnosti baterie těch přijímačů, v kterých je použit a proto je mnoho modelů, které jsou osazeny touto čipovou sadou, vhodných pro mobilní zařízení.



Obr. 3.23 Blokové schéma architektury SiRF star IV [Csr. 2010]

3.6 Přijímače GPS

Situace na trhu s GPS přijímači se velice rychle mění a málokterá z kategorií je tak vyhraněná, že by některé přístroje nebylo možné použít i v jiných oblastech použití. Často se proto stává, že námořní přístroje se používají i v autech či letadlech, protože málokterý uživatel si může dovolit na každou oblast použití k tomu určené zařízení. Proto se již většina GPS přijímačů vyrábí s možností mnohostranného použití. Dnešní moderní přijímače se řadí mezi *vícekanálové přijímače*, kde má přijímač 5 až více samostatných kanálů, které umožňují současný příjem signálů a zpracování dat z více družic. První polohu obdržíme asi do 30 sec, tím se eliminují případné výpadky a přijímač je stabilnější i v zakrytých prostorech (města, lesy).

Starší přijímače by se dále dělily na *jednokanálové sekvenční* - přijímač postupně přijímá signály a plně zpracovává data z každé družice zvlášť. Pro přijímání signálu z více družic je přijímač nucen přepínat velmi rychle mezi signály z družic (cca 20 ms). Tím se zvyšuje riziko výpadku signálu a vzniku případných skoků. Problémy nastávají v zastavěných územích, v lesích a zakrytých prostorech, kde tyto přijímače mají své omezení.

Dalšími přijímači jsou tzv. *multiplexované*, na principu cyklického přepínání jednokanálového/vícekanálového přijímače, které umí zpracování signálu z různých družic v kratším časovém intervalu. V době příjmu signálu z následující družice se zpracovávají dekódovaná data od předchozí. Tím lze celý proces stanovení polohy urychlit. Nevýhodou jsou horší šumové poměry vůči jednokanálovému sekvenčnímu přijímači a tím i v nepříznivých podmínkách šíření větší chyby ve stanovení polohy. Informace toho textu byly čerpány z [STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. 2006] [Beruna. 2008].

Turistické (Outdoor)

Nejširší kategorie GPS přístrojů. V této skupině se klade důraz na velikost přístroje, hmotnost (kolem 200g), výdrž baterie (15-30hod na dvě AA baterie), jednoduché a intuitivní ovládání či příjemný design. Jsou odolné vůči nárazům, vibracím a vydrží i krátkodobé ponoření do vody. Přístroje mohou být vybaveny elektronickým kompasem, který udává vždy správný směr i bez použití GPS signálu, nebo technologii *SiRF* popisované výše. Přístroje se dělí na:

- **Nemapové,**

- **mapové** - mají uloženou mapu celého světa, do své přepisovatelné paměti mohou nahrát další detailnější mapy,
- **mapové s routingem** (jsou dražší, ale mají mnohem širší použití).

Některé přístroje se vyrábí i s vestavěným barometrickým výškoměrem, u kterého se udává přesnost kolem 2,5 m ve výšce. Jsou vhodné pro oblasti, kde je požadavek na přesnou nadmořskou výšku, jako je létání, vysokohorská turistika nebo GIS. Dalším využitím barometru je i krátkodobá předpověď počasí na základě několikahodinového záznamu barometrického tlaku vzduchu. Oblast použití: pěší turistika, autoturistika, kolo, motocykl, UL létání, paragliding, sběr dat pro GIS, námořní navigace.



Obr. 3.24 GPS přijímač pro outdoorové použití

Námořní (Marine)

U námořních přístrojů (tzv. mapových plotterů) je kladen důraz na poskytnutí podrobných navigačních údajů. Důležitou vlastností je čitelnost a přehlednost displeje. Větší přístroje bývají pouze na externí napájení a montují se přímo na palubní desky.

U námořních plotterů existují samostatné mapové plottery nebo sdružené přístroje se sonarem, které mohou ukazovat i průběh dna pod lodí, případně registrovat souřadnice a hloubku místa, kde se loď právě nachází. V některých aplikacích se sdružené přístroje používají pro zmapování dna vodních nádrží nebo říčních koryt a objevují se i případy, kdy přístroj usnadňuje lov ryb a to právě díky sonaru, navíc lze takové místo zaznamenat pro budoucí návrat. Námořní přístroje se všeobecnými funkcemi nijak neliší od turistické řady, ale přístroje bývají opatřeny některými speciálními funkcemi jako například:

- MOB (“muž přes palubu”) – tato funkce díky stisku jedné klávesy dokáže zaznamenat aktuální pozici a okamžitě aktivovat navigaci zpět na takové místo.
- Utržení kotvy – funkce, která nachází uplatnění při kotvení lodi. Přístroj dokáže zvukově upozornit na nežádoucí pohyb lodi (např. při utržení kotvy v noci). U této funkce lze předem nadefinovat okruh, ze kterého se loď nesmí dostat.
- Varovné body – Jsou to body, které lze nadefinovat. Většinou označují nebezpečná místa, ke kterým se nechcete přiblížit a přístroj je pravidelně kontroluje vzhledem k aktuální pozici a přiblížení. Pokud se k takovému bodu loď dostane, GPS spustí alarm.

Přenosné námořní přijímače existují opět nemapové, mapové a mapové s routingem. Pevné mapové plottery mohou být nemapové, mapové, mapové se sonarem a mapové s možností propojení do sítě s jinou námořní elektronikou (radary, sonary, podvodní kamery). Výhodou námořních modelů je vysoká odolnost proti agresivnímu prostředí (slaná voda, výkyvy teplot, vibrace...), široká škála navigačních funkcí s podrobným uživatelským nastavením a široký výběr od malých přístrojů bez mapy až po velké plottery na zabudování.



Obr. 3.25 Námořní navigace Garmin GPSMAP 3010C

Letecké (Aviation)

Pro letecké použití (zejména pro sportovní létání, UL, paragliding) se často používají přijímače z oblasti turistických či námořních v kombinaci s jednoduchou leteckou mapou. Většina leteckých přijímačů dnes již obsahuje prvky letecké Jeppesen databáze, ať už pro Evropu, či pro celý svět. V přijímačích tak najdeme základní informace o letištích, zakázaných prostorech, prostorech s omezeným leteckým provozem, hlasné body apod. Přijímač nás upozorní, pokud se například dostaneme do blízkosti prostoru s omezeným letovým provozem. Přístroje se dělí:

- nemapové,
- mapové,
- mapové s automobilovou navigací,
- volně stojící,
- zabudované,
- přístroje s napájením na baterie nebo na externí napájení.

Jeppesen databázi je možno pravidelně aktualizovat a u nejnovějších modelů lze opět, jako u outdoorových či námořních, dohrávat mapy a navíc kombinovat letecké, námořní i automobilové funkce. Z takových přístrojů se stávají opravdu univerzální přístroje na použití ve všech oblastech. Výhodou leteckých modelů je dostupnost leteckých dat přímo na displeji, upozornění na přiblížení se k některému z důležitých prvků letecké databáze nebo u vyšších modelů například funkce vektorového přiblížení na přistávací dráhu.



Obr. 3.26 GPSmap 296 – GPS přijímač pro letecké účely

Aplikační (OEM)

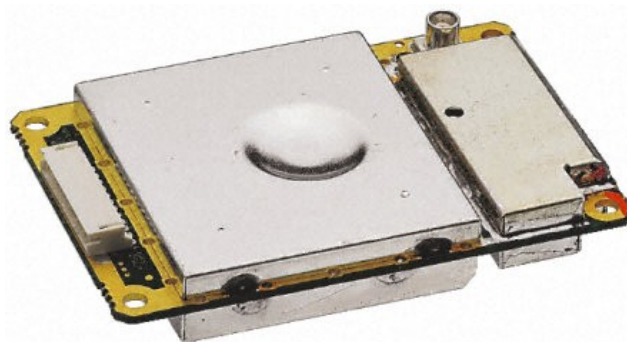
Aplikační GPS přijímače jsou připraveny pro zabudování do dalších systémů, které z GPS přejímají a dále zpracovávají některá data. GPS přijímač bývá zdrojem přesné informace nejen o poloze, ale i např. o směru a rychlosti pohybu, někdy se používá přesného časového signálu, či vteřinového pulzu s přesností na mikrosekundy. Aplikační přijímač může mít podobu plošného spoje ve velikosti krabičky od sirek, s konektorem na připojení externí antény, nebo může být i s anténou umístěn v pouzdře, podobném počítačové myši. Tyto přijímače nemají klávesnici a ve většině případů ani displej. Dají se jednoduše propojit s notebookem či PDA v autě a komunikují pomocí tzv. NMEA protokolu. Předem je u nich možné naprogramovat jak často a jaký typ informací mají přenášet. Dělíme je na přístroje s komunikací:

- po sériovém portu,
- USB portu,
- pomocí Bluetooth technologie.

Typy aplikací, ve kterých se aplikační GPS přijímače používají: PDA navigace, časové servery pro řízení času počítačových sítí či vzdálených počítačů, sledování pohybu vozidel (elektronická kniha jízd), zabezpečovací systémy, sledování objektů v reálném čase.



Obr. 3.27 Socket Bluetooth GPS Receiver



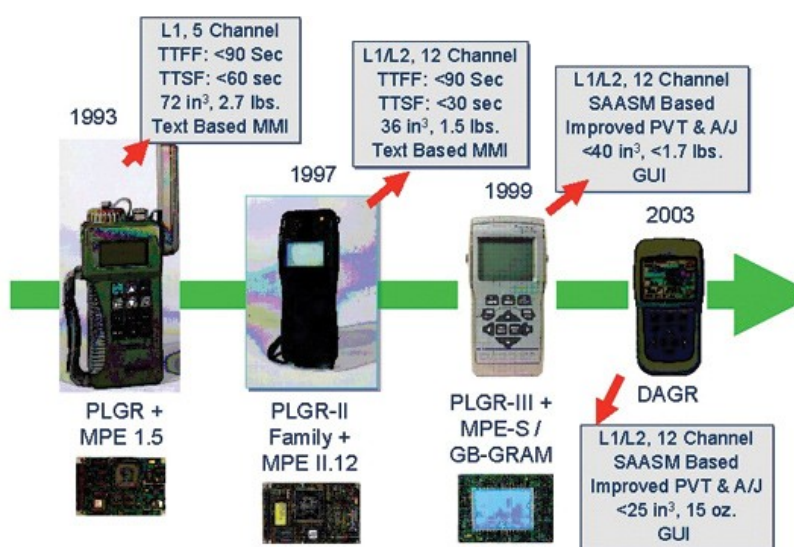
Obr. 3.28 GPS25 LP – OEM GPS přijímač

Vojenské (Military)

Základním rozdílem mezi civilním a vojenským přijímačem by měla být možnost vojenského přijímače zpracovávat i zakódované informace (tzv. P(Y)-kód) a díky tomu fungovat i v oblastech s válečnými konflikty, kde může dojít k omezení funkčnosti civilních GPS přijímačů.



Obr. 3.29 Nejnovější model DAGR



Obr. 3.30 Vývoj armádních GPS přijímačů [PRC68.COM]

Automobilové (Automotive)

Automobilové GPS přijímače můžeme dělit jako vestavěné navigační systémy a přenosné automobilové navigační systémy.

Vestavěné navigační systémy jsou systémy ve velikosti autorádia. Poskytují navigační informace po nejrychlejší či nejkratší trase k cíli. Některé ze systémů spolupracují s pozemním vysíláním o dopravní situaci a umí řidiče vést místy s nejmenším provozem na silnici (tento systém se nazývá Dynamická navigace). Kromě GPS přijímače je navigační systém vybaven i mechanikou pro mapové CD-ROM nebo DVD-ROM disky, na kterých jsou uloženy informace s detailními mapami určitého území a LCD displejem, které se dají kombinovat s televizí, DVD či parkovací kamerou. Pro případ zastíněného GPS signálu se u dokonalejších systémů přebírá rychlost, případně směr jízdy přímo z vozidla. V případě chybného odbočení nebo neohlášené objíždky dokáže přístroj přepočítat navigační trasu. Vestavěné systémy jsou závislé na dostupnosti digitálních map na speciálních CD-ROM nebo DVD-ROM discích. V oblastech, kde tato mapová média nejsou dostupná, je funkce celého systému velmi omezena.

Výhodou těchto přístrojů je plná integrace do systému vozidla. Displej dokáže kromě navigačních dat zobrazovat okolní teplotu, diagnostiku motoru, případně jiná data ze systému vozidla. Nevýhoda těchto systémů je velká pořizovací cena jak samotných systémů, tak i mapových médií a nedají se přenášet.

Přenosné automobilové navigační systémy vznikly zdokonalením ručních GPS přijímačů, nebo odvozením od PDA počítačů. Nejdokonalejší přenosné systémy již dosahují komfortu některých vestavěných systémů, včetně možnosti dynamické navigace (možnost příjmu aktuálních dopravních informací přes standardní RDS-TMC kanál). Umí vyhledávat nejrychlejší nebo nejkratší trasu a navádět přímo po silnicích. Pro navigaci umí využít vestavěnou nebo nahrávanou mapu se základními komunikacemi.

Výhodou přenosných systémů je nižší pořizovací cena, možnost snadného přenášení, použití pro více účelů (auto, kolo, motocykl, loď, letadlo).



Obr. 3.31 Přenosná automobilová navigace

Přesné geodetické GPS přijímače

Jedná se o měřicí aparatury, se kterými lze dosáhnout přesnosti zaměření bodu až v řádech centimetrů (případně i milimetrů). Tyto aparatury se cenově pohybují od stovek tisíc až do řádu milionu korun. Pro měření se využívají dva GPS přijímače, kdy jeden stojí na stálém bodě (tzv. báze) a s druhým se objíždí měřené body. K základním rozdílům oproti navigačním přístrojům patří například jiná konstrukce antény, absence displeje, větší hmotnost i velikost (měření je prováděno ze stativu), pro zpracování dat je potřeba speciálního software a vysoká pořizovací cena.

Přijímače se dělí na:

Jednofrekvenční přijímače - používají se pro zakázky spojené s budováním PBPP, určování souřadnic polygonových bodů – práce v bodových polích.

- základní přesnost přijímače 5 mm + 1 ppm,
- observační doba při pěti a více satelitech do 20 minut,
- přijímač musí měřit i při 4 satelitech bez ztráty přesnosti,
- standardní paměť na více než 50 hodin měření,
- příkon přijímače v každém případě pod 3 W,
- možnost kinematického měření.

Dvoufrekvenční přijímače - používají se pro zaměřování rozsáhlých liniových staveb, vytyčování velkého množství bodů, sledování deformací objektů.

- základní přesnost přijímače 5 mm + 1 ppm,
- přesnost kinematických metod 1 cm + 1 ppm,

- přijímač musí měřit a vytyčovat i při 4 satelitech bez ztráty přesnosti,
- standardní vybavení funkcí RTK INPUT a OUTPUT,
- standardní vybavení firmwareovou inicializací OTF,
- doba inicializace maximálně 30 sekund,
- odolnost vůči multipath efektům,
- spolehlivost inicializace (výsledků) > 99,9 %,
- příkon přijímače pod 9 W,
- univerzální anténa jak pro kinematická měření, tak i pro velmi přesná měření statická,
- kvalitní datacollector do extrémních podmínek.

Propojení GPS s notebookem, PDA nebo mobilním telefonem

Pro chod GPS navigace s mobilním zařízením existuje různý software, který obsahuje mapové podklady, nebo umějí vyhledávat nejrychlejší nebo nejkratší trasu a to i zdarma. Komunikace mezi GPS a PC (notebookem) v případě přenosu dat v reálném čase funguje převážně na NMEA protokolu. K PDA počítačům se připojují buď klasické, ruční GPS přijímače pomocí propojovacích kabelů či datových rozhraní (např. Bluetooth), nebo je GPS modul přímo jako součást výrobku, jako je tomu u mobilních telefonů (smartphone). Mezi výhody patří všestrannost mobilních zařízení a lze je použít prakticky kdekoliv. Nevýhody můžeme najít spíše u notebooku, protože jeho pořízení kvůli navigaci je v dnešní době zbytečné a nákladné. U zařízení PDA a mobilních telefonů můžeme jako nevýhodu považovat přesnost měření, která může být i desítky metrů.

Hodinky s GPS

Nabízí základní funkce GPS přijímače, jako je zaměření pozice, uložení bodu, navigace na cíl apod. Údaje z GPS jsou zobrazovány pouze číselně, proto slouží spíše jako zdroj souřadnic pro nouzový stav (při nehodě, při bloudění v přírodě atd.). Využití hodinek s GPS je spíše ve sportu (dodržování rychlosti při běhu apod.).

Vlastnosti výrobku: možnost záznamu až 200 waypointů, 10 tras, 400 bodů prošlé trasy, propojení s PC, automatické srovnání času pomocí GPS signálu. Všechny informace o GPS přijímačích byly čerpány z [STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. 2006] [Beruna. 2008].



Obr. 3.32 Hodinky s GPS přijímačem lze propojit i s PC

3.7 Využití GPS

Při vzniku GPS se jednalo o armádní projekt, takže jeho největší využití je v armádě. Používá se k navigaci a sledování letadel, lodí, vozidel a další pozemní vojenské techniky. Dále se používá k označování cílů, pro navádění raket a bomb. Pro civilní obyvatelstvo je systém GPS rozšířen jako navigační přístroje, nejčastěji do automobilů. Ve vědeckých oblastech GPS slouží například k zaznamenávání pohybu ledovců, či ke sledování migrace zvířat. Navigační systém může sloužit také pro ochranu cenných věcí, například památek, do kterých se moduly GPS zabudují. Plánuje se použití GPS v budoucích automobilech jako například omezovače rychlosti. Podle polohy vozu se změní maximální povolená rychlost vozidla.

Použití dle oborů

- **Turistika, cykloturistika** – navigace v neznámém terénu v kombinaci s mapou i bez, statistika o prošlé trase, času, rychlosti apod., možnost zaznamenání trasy a zajímavých míst po trase.
- **Motorismus** – navigace po silnicích a cestách s hlasovou navigací i bez, příjem a zpracování aktuálních dopravních informací a vedení řidiče místy s nejnižším dopravním provozem. Statistika maximální a průměrné rychlosti, možnost ukládání trasy se zpětnou navigací, ukládání svých vlastních bodů a tras.
- **UL létání, paragliding** – navigace za letu, záznam proletěné trasy pro vyhodnocení letu na závodech.
- **Námořnictví** – navigace na moři buď s modely obsahujícími podrobné námořní mapy, nebo ve spolupráci s papírovou mapou, funkce navigace zpět po projeté trase, alarm pro případ utržení kotvy, navigace „muž přes palubu“.

- **Potápění** – možnost zaměření zajímavých lokalit se zpětnou navigací s přesností na několik metrů, možnost odečtení souřadnic objektů na starých mapách údolních nádrží před zatopením a nalezení těchto objektů pod vodou.
- **Rybaření** – možnost záznamu míst na vodní ploše, kde je možné pravidelně vnažit a chytat ryby, při použití GPS ve spojení se sonarem možnost vymapování rybiho hejna a možnost vytvoření mapy pohybu ryb. Snadné vyhledávání ideálních míst pro rybolov na námořní mapě a přesná navigace na vytipované místo.
- **Zemědělství** – možnost kontroly výměry pozemku při např. zavlažování, sklizni a podobných službách, kde se platí od výměry.
- **Botanika, zoologie** – možnost protokolace nálezu živočišných a rostlinných druhů kdekoliv na světě.
- **Geologie, geofyzika** – zaměření objektů ve volném terénu, navádění na plánované body a profily měření, hledání starých vrtů.
- **Geodézie** – vyhledávání trigonometrických, polygonových a jiných bodů, zjednodušení a zrychlení práce při vytvoření místopisu, přebírání např. trasy u liniové stavby, zaměřování a zhušťování bodové sítě atd.
- **Logistika** – zaměření odběratelů a dodavatelů pro vytvoření logistického modelu.
- **Sběr dat** – propojení sběru databázových dat s pozicí objektu-možnost propojení na digitální mapu.
- **Výpočetní technika** – časové servery-zdroj velmi přesného času
- **Sledování pohybu vozidel a objektů** – GPS jako zdroj informace o pozici objektu pro zobrazení polohy auta (v reálném čase nebo formou „černé skříňky“), GPS jako zdroj pozice pro zabezpečení vozidla.
- **Bezpečnostní služby** – informace o pozici s možností napojení na bezpečnostní systém.

4 Galileo

Galileo je oficiální název pro nově budovaný evropský globální družicový systém, vycházející sice z ověřených principů stávajících systémů, ale přinášející do navigace i určování polohy zcela novou kvalitu. Stejně jako americký GPS i evropský Galileo je dálkoměrným systémem využívající umělé družice Země k přesnému určování polohy. Právě kvůli plné podřízenosti zahraniční armády a jednoznačnému odmítnutí účasti Evropy ze strany USA na dalším vývoji a řízení jejich systémů (GPS), vznikla potřeba globálního družicového systému (GNSS), podřízeného výlučně pro civilní správu, a tak v roce 1999 Evropská komise doporučila, aby EU vyvinula vlastní navigační systém. Hlavními argumenty byly [*Cordis.europa.eu*, 1999]:

- Otevřít cestu novým aplikacím, pro něž jsou technické parametry nebo spolehlivost současných systémů nevyhovující.
- Zajistit, aby se Evropa nestala příliš závislou (z hlediska ekonomického i z hlediska služeb nezbytných pro bezpečnost lidí) na státech nacházejících se mimo Evropskou unii.
- Otevřít cestu novým aplikacím, nezbytným pro bezpečnost lidí, pro které by existovaly mechanismy certifikace a také existovaly záruky spolehlivého provozu.
- Zavést nové aplikace a vytvořit nové trhy použitím integrovaných navigačních a komunikačních služeb.

Důležitou změnou oproti GPS je zajištění integrity, tedy ochrana proti jakýmkoli poruchám družic. Přijímač bude mít možnost odhalit chybně pracující družici a její signál tak ignorovat. Také určení polohy bude mnohem přesnější než je tomu u GPS či GLONASS, odhaduje se, že chyba bude menší než jeden metr. Při dalších pomocných metodách jako je EGNOS, či lokální zpřesnění je možné se dostat na přesnost až v řádu desítek centimetrů. Tohle vše spolu se zajištěním integrity je velmi důležité pro oblasti, kde bezpečnost je na prvním místě, například letecká doprava, nebo záchrana osob.

V roce 2000 měla Evropa zjistit, zda má potřebné technické a finanční zdroje, podnikatelskou prozíravost a politickou vůli projekt Galileo realizovat a přijmout definitivní stanovisko, zda v projektu pokračovat, nebo ho ukončit. Počátkem roku 2001 nakonec byla

po rozsáhlých diskuzích zahájena další etapa vývoje a budování tohoto systému. Projekt měl splňovat následující požadavky:

- Musí to být otevřený globální systém plně kompatibilní (avšak nezávislý) s GPS, s významnou rolí Ruské federace.
- Bude založen na družicích se střední oběžnou drahou (cca 24 000 km), jeho cena bude 3,25 mld EUR; kosmický segment bude tvořen 30 družicemi rozmístěnými na třech oběžných drahách; tři z nich (vždy po jedné na každé oběžné dráze) budou pracovat v režimu aktivní zálohy; řídicí segment bude zahrnovat většinu z již budovaného systému EGNOS; celý systém bude uveden do plného provozu v roce 2008; roční provozní náklady počínaje rokem 2008 jsou odhadovány na 220 mil EUR.
- Musí být vyvíjen v partnerství veřejného a soukromého sektoru.
- Služby budou poskytovány na třech úrovních (služba s otevřeným přístupem, služba s kontrolovaným přístupem číslo jedna, služba s kontrolovaným přístupem číslo dvě).

Ne všechny tyto požadavky se však podařilo dodržet. Oběžná dráha je upravená na cca 23,5 km, cena se odhaduje na 4 mld EUR a místo tří poskytovaných služeb má poskytovat služeb pět. Pro budování systému Galileo mělo být využito tzv. „PPP“ (z angl. Public-Private Partnership) – partnerství veřejného a soukromého sektoru. To znamená, že systém Galileo měl být financován částečně z prostředků Evropské unie a částečně z prostředků soukromého sektoru. Evropská komise však předpokládala, že po jeho dobudování a uvedení do provozu lze financování z veřejných prostředků z velké části nahradit financováním z prostředků soukromých. Tohle rozhodnutí možná stálo systém Galileo několik roků zpoždění jeho uvedení do provozu navíc a už vůbec tomuhle ambicióznímu projektu nepomohla nedávná finanční krize, kvůli které se projekt prakticky téměř zastavil pro obrovský nedostatek finančních prostředků a jeho plánované dokončení prvních tří druhů služeb (základní, veřejně regulovaná, vyhledávací a záchranná) má být v roce 2014. Zbylé dvě služby, budou funkční společně se všemi 30 funkčními satelity, které systém Galileo má mít [European Commission. 2010]. Systém by měl po dokončení poskytovat celkem pět služeb [Czech Space Office. 2010]:

- základní (open service - OS),
- „kritickou“ z hlediska bezpečnosti (safety of life service - SoL),
- komerční (commercial service - CS),
- veřejně regulovanou (public regulated service - PRS),

- vyhledávací a záchrannou (search and rescue service - SAR).

4.1 Druhy služeb

Základní (open service - OS) – je základní úrovní služeb. Je určena pro masové použití a bude zdarma, využít ji tedy může kdokoli s vhodným přijímačem. OS bude spolupracovat s GPS a GLONASS, což zlepší výkon a následnou přesnost v náročných podmínkách, jako městské aglomerace, lesy, kaňony apod.

„Kritická“ z hlediska bezpečnosti (safety of life service - SoL) – bude využívána především v dopravě, kde snížení výkonu a přesnosti bez okamžitého upozornění může vést až ke ztrátám na životech. Co se týče přesnosti, je shodná se službou OS, ovšem navíc nabízí zabezpečení služby a její integritu. Pro tuhle službu budou vyráběny speciální certifikované dvoufrekvenční přijímače.

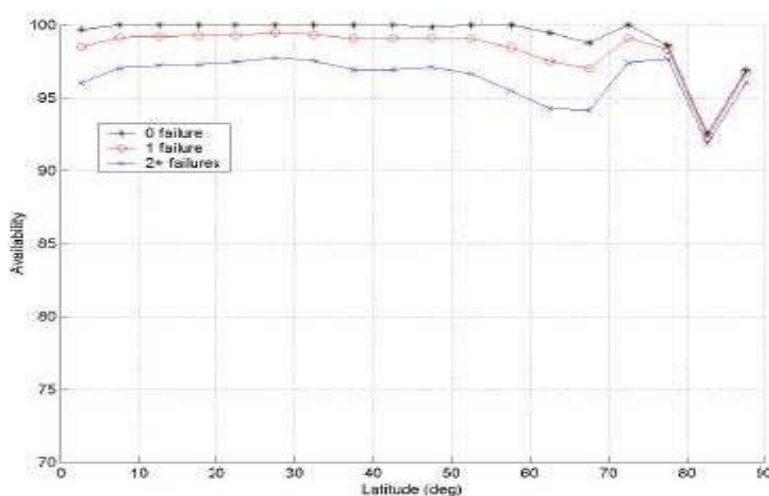
Komerční (commercial service - CS) – služba pro zákazníky, kteří touží po lepším výkonu, než je u základních OS, ale bude za poplatek. Ke standardnímu signálu OS přibudou ještě další dva, které budou šifrovány a tak budou bezpečné pro přenos komerčních informací. Typickým příkladem využití CS je služba přesného měření času nebo lokální diferenční korekční signály pro extrémně přesné měření polohy. V rámci CS bude možno aktualizovat softwarové vybavení přijímačů a poskytovat informace o dopravě.

Veřejně regulovaná (public regulated service - PRS) – určena pro vládní využití, především pro policii, stráž nebo celní správu. Přístup k této službě bude podléhat přísným bezpečnostním regulím. PRS bude k dispozici za všech podmínek včetně nejvážnějších krizí a její signál má být zabezpečen proti rušení.

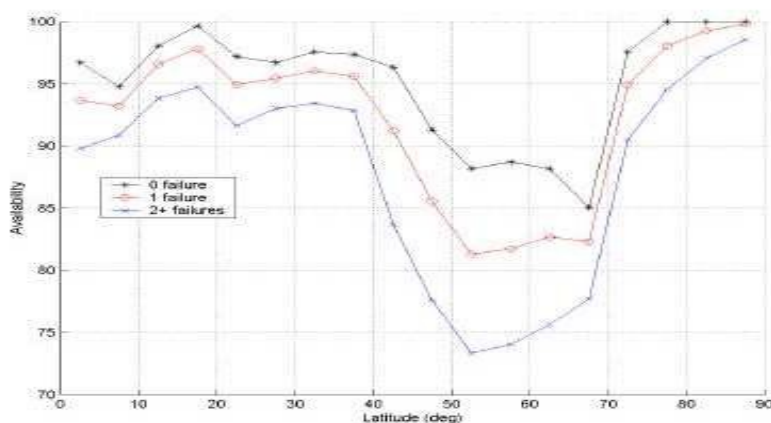
Vyhledávací a záchranná služba (Search and Rescue - SAR) – uživatel v nouzi bude moci odeslat tísňový signál obsahující jeho skutečnou a velmi přesnou polohu, systém Galileo mu poskytne zpětnou vazbu, případně bude možné přímo pomocí lepších přijímačů navázat omezenou komunikaci mezi záchranáři a uživatelem. Tato služba je připravována ve spolupráci s COSPAS-SARSAT, ICAO a IMO. Informace ke kapitole Druhy služeb byla čerpána z [VALIŠ, Pavel. 2006].

4.2 Konstelace satelitů

Při návrhu systému Galileo byly uvažovány dvě možné konstelace – satelity na středních oběžných drahách (MEO) a satelity na středních i geostacionárních drahách (GEO). Aby bylo možné provozovat funkční službu pro CS a SoL, musela být konstelace dostatečně odolná vůči poruchám satelitů, ale i ekonomicky realizovatelná. V přiložených grafech je zobrazena závislost dostupnosti služby na zeměpisné šířce při 0-2 poruchách družic. První graf (Obr. 4.1) je pro konstelace s 30 MEO satelity, druhý (Obr. 4.2) je pro 24 MEO a 8 GEO satelitů při výpadku jedné z GEO družic. Nakonec byla vybrána varianta první [VALIŠ, Pavel. 2006].



Obr. 4.1 30MEO satelitů [VALIŠ, Pavel. 2006]



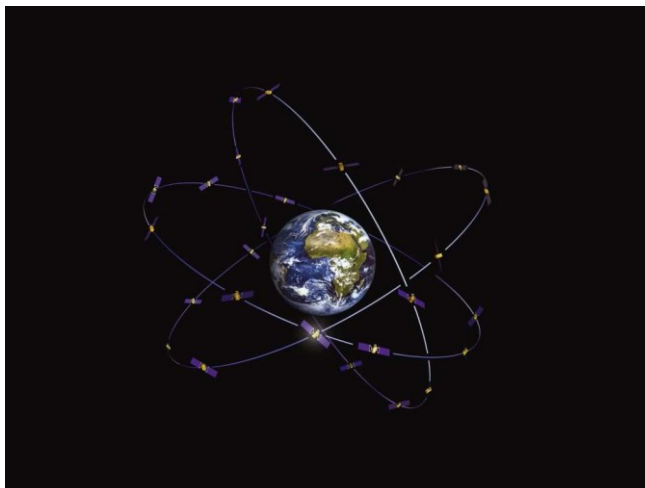
Obr. 4.2 24 MEO a 8 GEO satelitů [VALIŠ, Pavel. 2006]

Jádrem systému Galileo je tedy 30 satelitů obíhajících ve výšce 23 222 km ve třech rovinách, jejichž inklinace k rovníku je 56° (Obr. 4.3). V každé rovině je 9 družic obíhajících kolem Země za 14 hodin. Zbylé tři satelity jak už bylo popsáno výše, tvoří zálohu pro případ

poruchy některé z pracovních družic, pro každou rovinu je určený jeden. Čerpáno z [VALIŠ, Pavel. 2006].

4.3 Frekvence a signály

Galileo bude přenášet celkem deset signálů, šest pro OS a SoL, dva pro CS a dva pro PRS. Vysílány budou v pásmech E5A-E5B (1164-1215 MHz), E6 (1260-1300 MHz) a E2-L1-E1 (1559-1591 MHz). Poslední zmíněné pásmo je sdílené se systémem GPS. Navigační signály Galilea se skládají ze zaměřovacích kódů a datových zpráv. Ty mají obsahovat identifikaci družic a jejich stav, hodiny, efemeridy a almanach. Čerpáno z [VALIŠ, Pavel. 2006].



Obr. 4.3 Konstelace systému Galileo [ESA]

4.4 Galileo Joint Undertaking

Za účelem pro řízení a vývoje projektu Galileo byla vytvořena společnost sdružení firem pro vývoj (Galileo Joint Undertaking, GJU), jejímiž zakládajícími členy jsou Evropská Unie a Evropská vesmírná agentura ESA. V říjnu roku 2004 se prvním mimoevropským členem stala organizace National Remote Sensing Centre of China. Kromě toho GJU spolupracuje s vládami USA a Ruska kvůli zajištění kompatibility Galilea s GPS a GLONASS.

GJU byl založen roku 2002, ale 1. ledna 2007 převzal všechny jeho úkoly nově vzniklý úřad GSA, který byl založen jako agentura Evropského Společenství 12. července 2004. Tento úřad má nyní na starosti všechny zájmy týkající se evropských GNSS programů. Ke strategickým cílům GSA patří dosažení plně funkčního systému GALILEO. Hlavním úkolem GSA je hájit veřejný zájem, fungovat jako regulační orgán pro evropské programy

družicové navigace (GNSS) a položit základy udržitelného a ekonomicky životaschopného systému. Klíčovým deklarovaným cílem GSA je to, aby Galileo byl nejen plně fungující systém, ale také přední světový satelitní navigačním systémem pro civilní použití. [*Odbor kosmických technologií a družicových systémů*. 2009] [ESA, 2003]

Mezi velmi důležité informace patří také fakt, že ČR usiluje o získání sídla agentury GSA do Prahy. Pokud by ČR uspěla s kandidaturou a sídlo GSA získala, znamenala by to pro ni celou řadu přínosů [*Odbor kosmických technologií a družicových systémů*. 2009]:

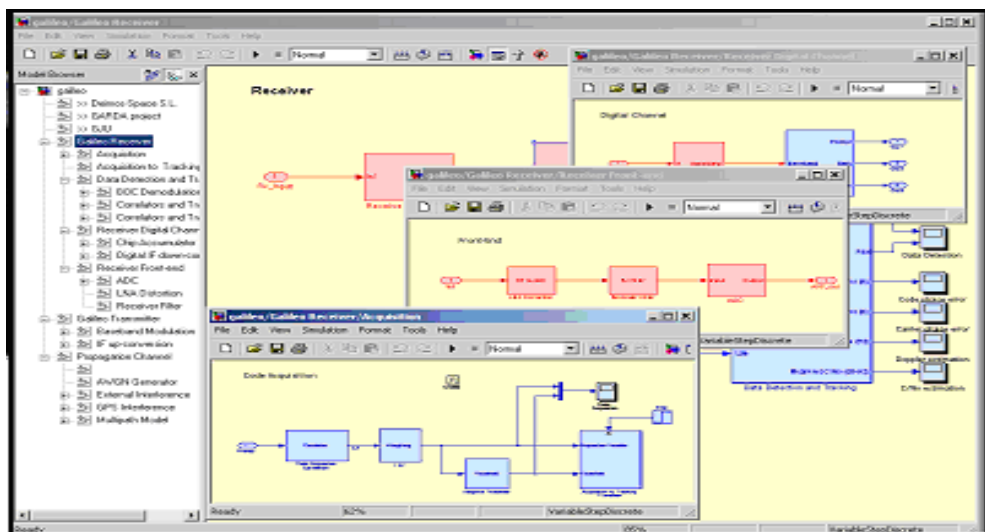
- Zakládání poboček významných technologických firem a kanceláří evropských a světových zájmových sdružení z oblasti kosmonautiky. Z toho plyne i větší šance českých technologických firem podílet se jako subdodavatelé na velkých projektech zejména v rámci ESA.
- Pozitivní ekonomický dopad z činnosti agentury (pracovní příležitosti, pronájem konferenčních prostor, využití hotelových a gastronomických kapacit), příp. propagace Prahy jako turistické destinace.
- Získání sídla GSA by podtrhlo image ČR jakožto leadera v oblasti kosmonautiky a hi-tech odvětvích v rámci skupiny nových členských států.
- Zvýšení prestiže ČR v rámci evropských institucí.

4.5 Software pro návrh přijímače evropského navigačního systému Galileo

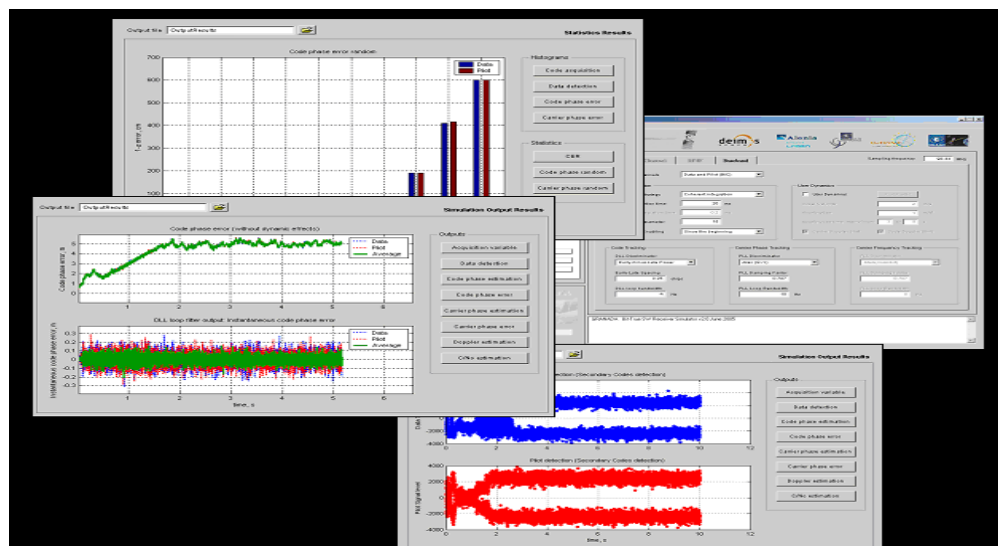
Španělská firma DEIMOS Space za podpory GJU vyvinula konfigurovatelný bit-true software pod názvem GRANADA (Galileo Receiver Analysis and Design Application). Jedná se o nástroj, který slouží jako platforma pro vývoj, analýzu a návrh přijímače a jeho částí. K vývoji software byl využit systém americké firmy The MathWorks MATLAB a jeho nadstavby Simulink a Signal processing Blockset.

Stejně jako jádro systému MATLAB má i Simulink řadu nadstavbových knihoven, které umožňují definovat dynamické systémy různého typu. Dynamický model v Simulinku zajišťuje simulaci signálu ze satelitu a zpracování signálu v celém řetězci s výrazně rozdílnými frekvencemi. Uživatel má možnost konfigurovat více frekvencí nezávisle na sobě. V simulaci je zahrnut vliv atmosféry a vlivy při zpracování dat v celém řetězci. Systém je modulární, aby vývojářům umožnil nahrazovat standardní architekturu přijímače jeho

vlastními algoritmy a kódy. V Simulinkovém modelu za přispění jeho nadstavby Signal Processing Blockset jsou paralelně generovány signály, které se dále zpracovávají v řetězci přijímačů. Po odladění přijímače je vytvořen model přenosového kanálu se zahrnutím šumu, různých poruch jako jsou zpoždění a interference GPS nebo Dopplerův posuv. Zahrnutím každého uvedeného vlivu se model přijímače upřesňoval. V MATLABu bylo vytvořeno rozhraní pro konfiguraci software GRANADA výběrem parametrů před automatickým generováním C-kódu použitím nadstavby Simulinku Real-Time Workshop. [HUMUSOFT. 2007]



Obr. 4.4 Simulink [GRANADA, 2011]



Obr. 4.5 Simulace signálu [GRANADA, 2011]

5 Zprovoznění GPS přijímače AC12, jeho vlastnosti a měření pomocí metody SBAS a DGPS

Abychom mohli realizovat záměr s metodou zpřesňování polohy DGPS a provést různá měření, potřebujeme k tomu základní věc a tou je OEM modul GPS podporující příjem korekcí. V tomto případě se jedná o příjem korekcí DGPS, tedy diferenční korekce pro zpřesnění polohy GPS pomocí referenční stanice VSBO.

Nejdříve byl proveden průzkum trhu, kde jsem vybral více GPS OEM modulů a následně je analyzoval. Byly vybrány dva moduly, z toho jeden cenově mnohem výhodnější a pro naše účely dostačující. Oba dva moduly jsou od firmy Magellan, tím dražším modelem je MB100, který umí kromě DGPS i RTK a má lepší vlastnosti. Pro nás dostačujícím modulem je model AC12, který umí pracovat s DGPS korekcemi. Mezi oběma modely je velký cenový rozdíl. Zatímco model AC12 se cenově pohyboval kolem cca. sedmi tisíc korun českých, model MB100 se pohyboval v hodnotě až do sta tisíc korun českých. V tabulce Tabulka 4 můžeme vidět základní rozdíly mezi těmito moduly.

Tabulka 4 Základní vlastnosti vybraných GPS modulů

Vlastnosti	AC12	MB100
Počet kanálů	12kanálový GPS přijímač s 2 kanály pro SBAS	45kanálový GPS/GLONASS přijímač
Korekce	DGPS+SBAS	DGPS+RTK+SBAS
Rychlost aktualizace	1Hz	20Hz
Přesnost		
Autonomní	Horizontal CEP 3.0 m	
	Horizontal 95% 5.0 m	
SBAS (WAAS/EGNOS)	Horizontal CEP 1.0 m	< 50 cm (CEP)
	Horizontal 95% 3.0 m	
DGPS	Horizontal CEP 0.8 m	< 30 cm (CEP)
	Horizontal 95% 1.5 m	
RTK		5 cm (v pohybu, CEP)
		20 cm(v pohybu, 95%)
		1cm (staticky)

Modul AC12 umí kromě DGPS korekcí i SBAS, tedy korekce ze satelitů. Tato vlastnost je velmi užitečná, dá se použít právě tam, kde se žádná referenční stanice v okruhu do 60 km nevyskytuje, nebo není žádná možnost, jak korekce DGPS do přijímače dostat.

5.1 Realizace komunikační jednotky

Aby GPS modul mohl vůbec pracovat, bylo potřeba zrealizovat napájení a komunikaci celé jednotky tak, aby byla možnost GPS přijímač připojit k počítači.

Bylo zjištěno, že modul si vystačí s napětím 3.3 až 5 VDC/55 až 70 mA a pro zálohu CMOS paměti je potřeba 2.7 až 3.6 VDC (6 μ A), to je řešeno pomocí knoflíkové baterie. Komunikace má být řešena sériovou linkou pomocí RS232 na portu A, který slouží pro oboustrannou komunikaci (full-duplex). Přes tento port se bude moci s čipem komunikovat, budou se mu posílat příkazy, které následně vykoná, a tím se získají naměřená data. Port B slouží pouze pro přenos DGPS korekcí ve standardním formátu RTCM – SC104, o kterém se spolu s formátem NMEA 0183 V3.0 zmíním později. Tento port tedy slouží pouze pro jednosměrnou komunikaci (half-duplex).

Jelikož je výstup z čipu vyveden jako TTL, bylo potřeba převodníku TTL-RS232. Aby byla ušetřena práce s napájením a náš GPS přijímač mohl být mobilní a moderní tak, aby byl použitelný vždy s jakýmkoli počítačem, který nedisponuje sériovým konektorem COM, byly zakoupeny dva totožné vývojové moduly UB232R (TTL-USB) od společnosti FTDI. Z důvodu maximální minimalizace modulu je použit standardní konektor USB mini-B. Celkové napájení je tedy vyřešeno pomocí USB rozhraní z počítače přes port A.

Zapojení konektorů TTL

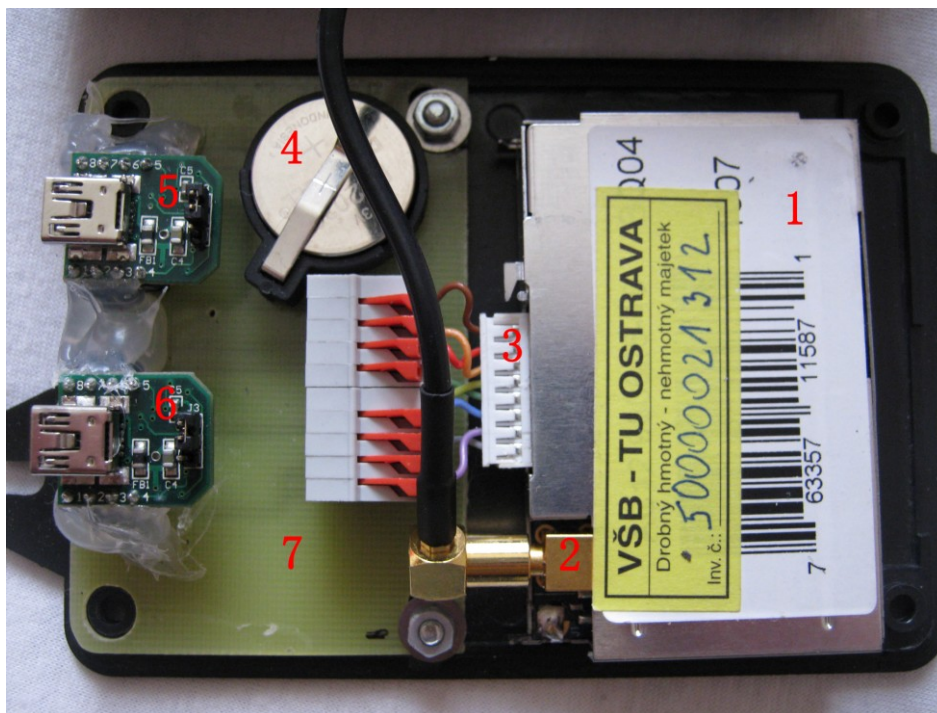
Na Obr. 5.1 a v tabulce Tabulka 5 je znázorněno zapojení jednotlivých pinů na konektoru v čipu. Díky tomuto schématu byl navržen a vytvořen tištěný spoj viz Obr. 5.2, kde se zabudovaly moduly UB232R a záložní baterie.



Pin	Označení signálu	Funkce
1	VCC	Primární napájení desky
2	V_ANT	Napájení antény
3	V_BACK	Připojení záložní baterie
4	GND	Připojení k zemi
5	RTCM	Port B: příjem dat (korekcí) z externího zařízení
6	RXD	Port A: příjem dat z externího zařízení
7	TXD	Port A: přenos dat na externí zařízení
8	1 PPS	Nepřipojeno



Kompletní a funkční GPS přijímač vsazený do rozměrného plastového obalu je vidět na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 1) GPS modul, 2) externí anténa, 3) TTL konektor, 4) záložní baterie, 5) UB232R port B, 6) UB232R port A, 7) tištěná deska

Spolu s GPS modulem byla zakoupena i externí GPS anténa od americké společnosti SANAV viz Obr. 5.4. Jedná se o výkonnou, voděodolnou anténu s ultra-vysokou citlivostí až 28 dB a velmi nízkou hladinou šumu. [SANAV]



Obr. 5.4 Externí anténa [SANAV]

5.2 Používané standardní formáty pro komunikaci

GPS modul AC12 umí pracovat s formáty NMEA 0183 V3.0 a RTCM-SC104 V2.2. Zmiňuji se pouze o větech, které se nejčastěji používají a které jsou nezbytné pro komunikaci

s GPS přijímačem. Podrobněji o formátu NMEA 0183 je popsáno v [VANCOUVER-*WEBPAGES*], [GPSINFORMATION] nebo [A12, B12 and AC12 Reference Manual]

5.2.1 Formát NMEA 0183

Jedná se o standard, který vytvořila NMEA — National Marine Electronics Association (národní asociace pro námořní elektroniku) a má definovat rozhraní mezi elektronickými zařízeními používanými pro lodní dopravu a umožňuje výměnu dat mezi počítačem, v našem případě GPS přijímačem.

Ve formátu NMEA 0183 se data posílají po řádcích ve větách s pevně danou strukturou, které začínají znakem '\$' následované dvěma písmeny GP (GPS) a dále trojpísmenným kódem určující formát zprávy. Každý řádek pak končí hvězdičkou a hexadecimálně zapsaným kontrolním součtem (XOR všech znaků na řádku mezi '\$' a '*'). Délka řádku je omezena na maximálně 80 znaků a jednotlivé položky jsou od sebe odděleny čárkami. Čerpáno z [GLOBÁLNÍ POLOHOVÉ A NAVIGAČNÍ SYSTÉMY] a [ROBOTIKA.CZ]

Rychlost portů A i B je taktéž dána pomocí NMEA protokolu defaultně a to následovně dle tabulky Tabulka 6.

Tabulka 6 Defaultní nastavení parametrů komunikace na portu A

Baud	Data bits	Parity	Stop bits	Port
4800	8	None	1	A

Pro komunikaci s čipem se výhradně používá port A, a používají se 3 druhy příkazů: dotazovací, příkazující a odpověď, kde příkaz je stálý, dotaz a odpověď se provedou pouze jednou.

Dotazovací věta:

Těmito větami se ptáme přístroje například na nějaké parametry či jeho nastavení. Struktura dotazovací věty je znázorněna v tabulce Tabulka 7.

Tabulka 7 Struktura dotazovací věty

Znak	Význam znaků	Příklad
\$	Začátek věty	
PASHQ	Identifikátor dotazovací věty	

str	Identifikátor požadované věty	PRT-dotaz na rychlost portu
x	Číslo portu na který se dotazujeme	A-jedná se o port A
Celková struktura příkazu: \$PASHQ,PRT,A <Enter>		

Příkazující věta:

Příkážeme GPS přístroji, aby vykonal námi požadované příkazy nebo parametry. Struktura příkazující věty je znázorněna v tabulce Tabulka 8.

Tabulka 8 Struktura příkazu

Znak	Význam znaků	Příklad
\$	Začátek věty	
PASHS	Identifikátor příkazu	
str	Identifikátor požadované věty	WAS-věta pro zapnutí/vypnutí SBAS
x	Jeden nebo více datových parametrů, které budou zaslány do přijímače	ON-zapnutí systému SBAS
Celková struktura příkazu: \$PASHS,WAS,ON <Enter>		

Odpověď přístroje:

Pokud pošleme přístroji GPS dotazovací větu na nějakou informaci, danou informaci nám vrátí ve formátu **\$PASHS** s parametry, které lze zjistit v [A12, B12 and AC12 Reference Manual].

Příkazy a odpovědi NMEA zpráv:

Slouží pro komunikaci s čipem ve formátu standardního NMEA protokolu, tedy použití standardních vět jako jsou GGA, GLL, RMC atd. Struktura příkazu je podobná struktuře příkazu při komunikaci s čipem a jeho nastavení (**\$PASHS, str, x**), s rozdílem přidání rozlišovacího znaku NME a dalších dvou parametrů:

\$PASHS,NME, str, x, s, d <Enter>,

kde **x** je port (A/B), **s** je ON/OFF a **d** je volitelný parametr k určení intervalu zpráv. Struktura dotazu je stejná:

\$PASHQ, str, x <Enter>.

GGA věta (Global Positioning System Fix Data) – obsahuje základní pevná data o 3D poloze přijímače a přesnosti signálu. Jako jediná NMEA věta obsahuje informace o nadmořské výšce.

Tabulka 9 Struktura GGA věty

Příkaz:	
\$PASHS,NME,GGA,A,ON,1	zapnutí věty GGA na portu A každou 1 sekundu
Odpověď přístroje:	
\$GPGGA,161016.000,5005.0334,N,01430.3369,E,1,06,2.1,242.9,M,45.5,M,,0000*5C	
Struktura věty:	
161016.000	určuje čas, konkrétně 16:10:16 UTC
5005.0334,N	50 stupňů, 5.0334 minut, severní šířky (latitude)
01430.3369,E	14 stupňů, 30.3369 minut, východní délky (longitude)
1	kvalita pozice (0 invalid, 1 GPS, 2 DGPS)
06	počet sledovaných satelitů
2.1	relativní chyba v horizontálním směru (Horizontal Dilution of Precision)
242.9,M	nadmořská výška v metrech
45.5,M	výška geoidu nad WGS84 elipsoidem
„	Stáří DGPS korekcí
0000	ID referenční stanice

RMC věta (Recommended minimum specific GPS/Transit data) – oproti GGA větě obsahuje minimální doporučené informace pro navigaci.

Tabulka 10 Struktura RMC věty

Příkaz:	
\$PASHS,NME,RMC,A,ON	zapnutí věty RMC na portu A
Odpověď přístroje:	
\$GPRMC,215734.00,A,3721.0760,N,12156.1138,E,00.0,015.0,040902,15,E,D*39	
Struktura věty:	
215734.00	určuje čas, konkrétně 21:57:34.0 UTC
A	status (A=active, V=void) platná či neplatná pozice
3721.0760,N	37 stupňů, 21.0760 minut, severní šířky (latitude)
12156.1138,E	121 stupňů, 56.1138 minut, východní délky (longitude)
0.00	rychlost v námořních uzlech
15.0	azimut ve stupních
040902	datum 4. září 2002
15	záznam o magnetickém rozptylu
E	směru magnetického rozptylu (W nebo E)
D	diferenční

Tohle byla jen ukázka NMEA vět používaných pro komunikaci s GPS modulem. Další důležité věty pro inicializaci čipu jsou uvedeny v [A12, B12 and AC12 Reference Manual],[VANCOUVER-WEBPAGES] a [GPSINFORMATION].

5.2.2 RTCM SC-104

Standard RTCM SC-104 byl vytvořen organizací Radion Technical Commission for Marine Services Special Committee 104, a byl vytvořený pro účely předávání korekčních GNSS dat pro DGPS a DGPS – RTK aplikace. Obsah souboru je zapisován binárně. Existuje několik verzí tohoto standardu viz Tabulka 11. Informace o protokolu RTCM SC-104 byly čerpány z [GLOBÁLNÍ POLOHOVÉ A NAVIGAČNÍ SYSTÉMY].

Tabulka 11 Verze standardu RTCM SC-104

Verze standardu	Popis
RTCM v2.0 (DGPS)	pouze podpora Real-time DGPS. Dosažitelná přesnost polohy je kolem 1 metru. Není použitelný pro RTK aplikace.
RTCM v2.1 (v2.0 + RTK GPS)	umožňuje i korekce z fázových měření pro RTK aplikace, které jsou ale omezeny pouze na systém GPS NAVSTAR.
RTCM v2.2 (v2.1 + GLONASS)	zahrnuje i šíření korekcí systému GLONASS, ale zpětně není plně kompatibilní s předchozí verzí 2.1, protože některé zprávy z této starší verze neobsahuje.
RTCM v2.3 (v2.2 + definice GPS antény)	k obsahu verze 2.2 přidává věty s informací o typu antény referenční stanice.
RTCM v3 (v2.2 + RTK síť a GNSS)	jedná se o zcela nový standard, který byl navržen s novou strukturou a změnami ve větách, vytvořený jako efektivní alternativa k verzi 2.x s primárním zájmem o RTK aplikace.
RTCM v3.1 (v3 + RTK síť)	rozšíření předchozí verze o možnost přenášení plošných korekcí RTK sítě a nový signál L2C a L5 pro GPS.

5.2.3 NTRIP

Networked Transport of **RTCM** via **Internet Protocol** je aplikační protokol, který vznikl pro podporu šíření dat globálních navigačních družicových systémů (GNSS), mezi které patří i diferenční korekce, pomocí Internetu. Každopádně pomocí tohoto protokolu lze šířit jakákoliv data. Za jeho vznikem stojí stejná organizace, která vytvořila protokol RTCM SC-104, tedy The Radio Technical Commission for Marine Services Special Committee 104. Ntrip je založený na protokolu HTTP/1.1., přičemž HTTP objekty jsou vloženy do datového toku. Výhoda tohoto protokolu je v připojitelnosti mnoha uživatelů k jednomu zdroji korekcí. Ntrip umožňuje i bezdrátový internetový přístup pomocí mobilních IP sítí, jako je například GSM, GPRS, EDGE nebo UMTS.

Ntrip se skládá ze tří programových částí:

NtripServer (HTTP klient) – přenáší datové toky od zdroje k NtripCasteru. Zdrojem je **referenční GPS přístroj generující korekce**. Ntrip Server je připojen k NtripCasteru a data RTCM převádí do datového streamu dle specifikací Ntrip, které pak následně odesílá.

NtripCaster (HTTP server) – je řídicí část systému. Je odpovědný za sběr přijímaných korekcí od jednotlivých NtripServerů. Provádí streamování korekcí do Internetu.

NtripClient (HTTP klient) – je schopen přijmout datový tok vysílaný z požadovaného NtripServeru prostřednictvím NtripCasteru, převedení dat zpátky do výchozího stavu. Čerpáno z [GLOBÁLNÍ POLOHOVÉ A NAVIGAČNÍ SYSTÉMY].

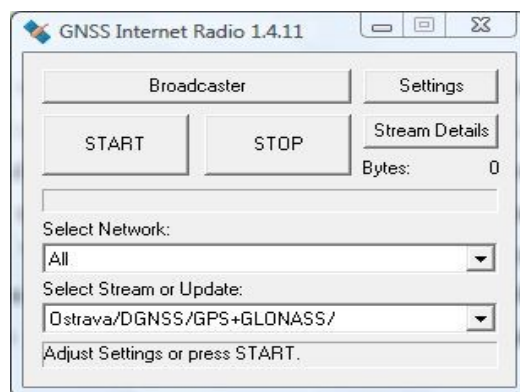
5.3 Statické měření s GPS modulem AC12

Tímto měřením si můžeme názorně ukázat rozdíl mezi třemi metodami měření, kterými jsou měření autonomní (bez korekcí), s korekcemi SBAS a metodou DGPS za pomoci referenční stanice VSBO. Funkční GPS přijímač není vše, co potřebujeme k úspěšnému měření. Jelikož se jedná o OEM GPS modul, nemá žádné zobrazovací zařízení ani žádnou možnost komunikace mezi přístrojem a uživatelem. Proto je nutné přístroj připojit k externímu zařízení jako je například PC, nebo notebook vybavený potřebným softwarem pro komunikaci s GPS přístrojem. V našem případě se jedná o tři programy, které potřebujeme k úspěšnému měření i s DGPS korekcemi, z toho dva slouží přímo pro komunikaci s čipem a třetí pro přenos DGPS korekcí po internetu díky protokolu NTRIP.

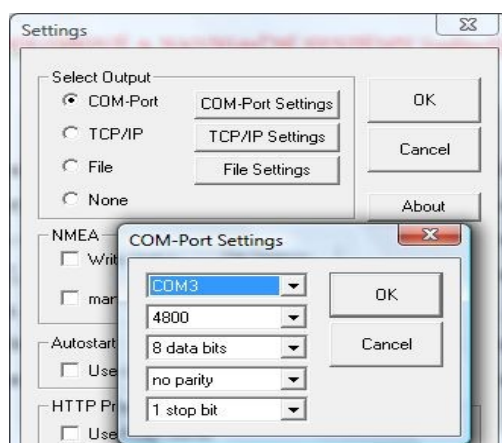
GNSS Internet Radio – Jedná se o volně šiřitelný software pro přenos dat, především DGPS korekcí z internetu pomocí protokolu NTRIP. Jeho pomocí lze z NTRIP serveru s adresou ntrip.vsb.cz přivést korekce přímo na virtuální sériový port (v našem případě COM3), který se automaticky vytvoří po připojení portu B z GPS přístroje k počítači pomocí USB kabelu.

Po spuštění programu se nám zobrazí okno, viz Obr. 5.5 a přes tlačítko Settings, následně COM-Port Settings, nastavíme rychlost portu dle standardu NMEA a Obr. 5.6. Přes tlačítko Broadcaster se dostaneme k nastavení NTRIP serveru, kde se zadá jméno uživatele a heslo, které samozřejmě musíme znát (od správce referenční stanice VSBO). Následně se zmáčkne tlačítko Load, čímž se na daný server připojíme. V rozbalovací liště ve spodní části programu máme na výběr z pěti možností, v našem případě použijeme Ostrava/DGNSS/GPS+GLONASS/, což znamená DGPS korekce z referenční stanice VSBO a korekce jsou určené pro přístroje využívající GPS i GLONASS. Jakmile budeme mít port B na GPS přístroji připojený k PC a systém o něm bude vědět, což zjistíme tak, že ve správci zařízení se objeví dva virtuální porty COM1 (port A) a COM3 (port B), zahájíme přenos DGPS korekcí do našeho GPS přístroje pomocí tlačítka START.

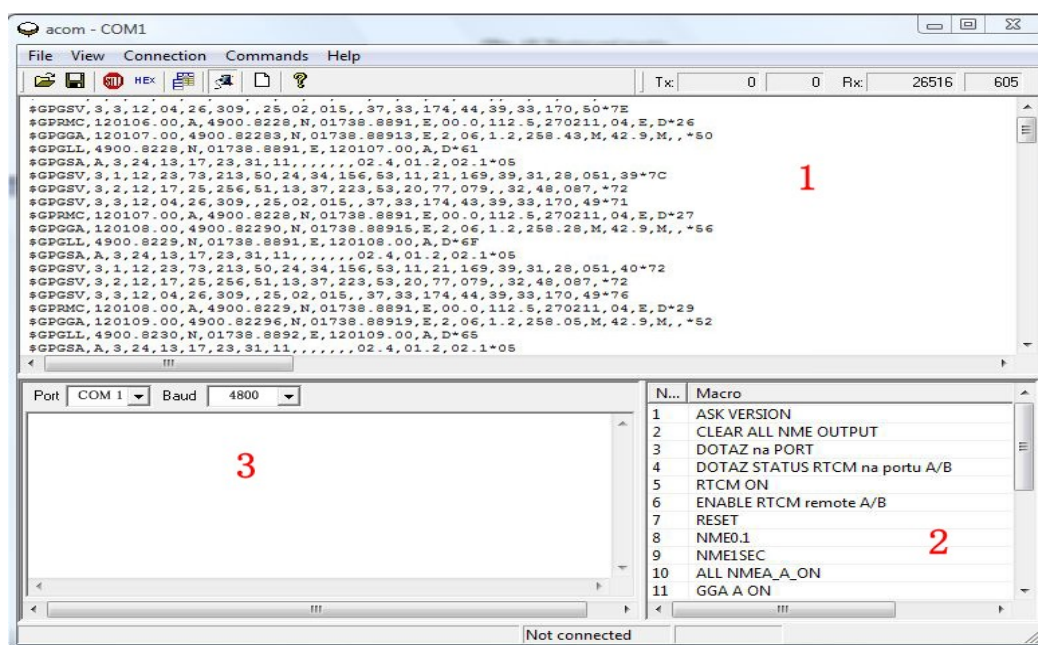
ACOM 32 – tento software od firmy Magellan je přímo určený a doporučený software pro ovládání GPS modulu AC12. Jedná se spíše o terminálový program, pomocí kterého můžeme čipu přes vytvořená makra s příkazy či větami NMEA říkat, co má dělat a jak se má chovat. V horním okně nám GPS vrací naměřená data ve formátu NMEA vět viz Obr. 5.7.



Obr. 5.5 Základní okno programu GNSS Internet Radio



Obr. 5.6 Nastavení portu



Obr. 5.7 Software ACOM32 1) data z GPS, 2) okno s vytvořenými makry, 3) okno pro psaní přímých příkazů

ArcPad 10 – je placený software od firmy ESRI. Tento software má i mapové podklady a dokáže naměřené data zapisovat do souboru, který se dá následně zpracovat jako v našem případě v MS Excel. Další jeho výhodou je přehled o kvalitě signálu a měření, dokáže zobrazit počet satelitů, s kterými náš GPS přístroj komunikuje a dokonce umí zobrazit i jejich polohu.

5.3.1 Postup měření a výsledné grafy

Samotné měření bylo prováděno přímo v areálu školy, konkrétně se jedná o prostor (louku) mezi budovou C a starou sportovní halou viz Obr. 5.8. Na louce se nachází měrný bod s přesnými lokálními souřadnicemi podle S-JTSK (souřadnicový systém v civilním sektoru) s hodnotami v ose X: -479282.92 a v ose Y: -1100933.80, na který se umístila anténa našeho GPS přístroje. Tyto hodnoty jsou pro nás klíčové, protože data, které naměříme s GPS přístrojem, posléze porovnáme právě s těmito souřadnicemi a z výsledku můžeme vytvořit graf, který nám ukáže přesnost měření s DGPS korekcemi, korekcemi ze satelitů (SBAS) a bez korekcí (autonomní).



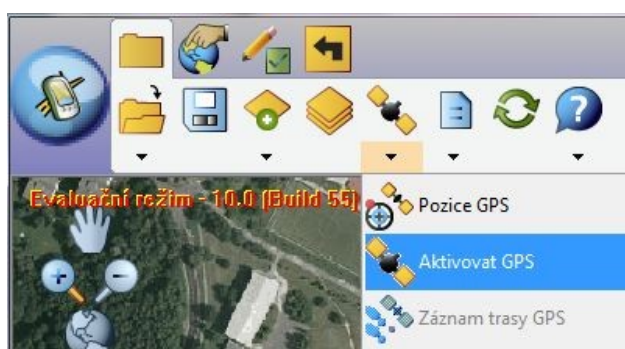
Obr. 5.8 místo, kde se provádělo měření

Měření bez korekcí – pro toto měření jsem si vystačil pouze s GPS přijímačem a notebookem. Anténu jsem položil přesně na měrný bod a GPS přístroj připojil k počítači. V programu ACOM32 jsem pomocí příkazu **\$PASHS,WAS,OFF** vypnul přijímání korekcí ze satelitů (SBAS) a zapnul program ArcPad10. Zde jsem si nastavil záznam trasy do souboru viz Obr. 5.11 a taktéž zapnul GPS přijímač spolu s trasováním (bez zapnutého trasování se soubor nevytvoří, tlačítko Záznam trasy GPS) Obr. 5.10. Na podkladové mapě se objevil

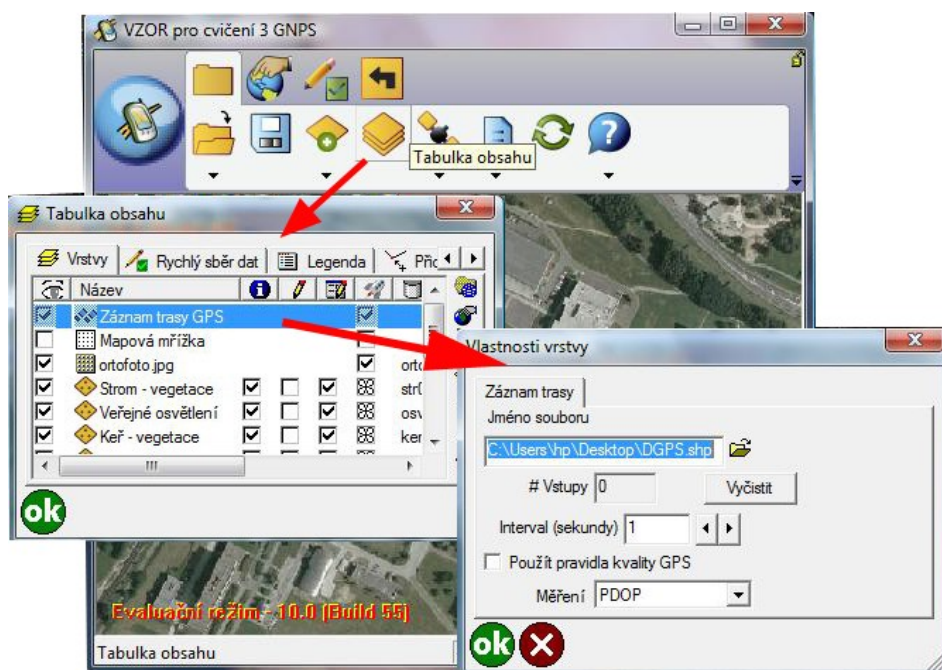
červený terč, signalizující polohu naší externí antény (Obr. 5.8). Měření probíhalo 20 minut kvůli neplacené verzi softwaru ArcPad10. Že se jedná o měření bez korekcí lze jednoduše zjistit z Obr. 5.12, kde je napsáno, že režim GPS je ve 3D (v horším případě 2D), nebo z NMEA věty GGA, kde se v červeném kroužku nachází číslice 1 označující pouze autonomní měření (Obr. 5.9).

```
$GPGSA,A,3,09,15,26,27,17,28,22,12,08,...,01,5,00,9,01,2*07
$GPGSV,3,1,12,15,67,245,53,27,61,296,52,26,47,163,53,17,42,108,52*7B
$GPGSV,3,2,12,09,40,289,54,28,37,056,51,18,21,300,42,12,13,230,44*72
$GPGSV,3,3,12,08,07,094,41,22,09,328,45,11,04,036,24,01,044,*7A
$GPRMC,173117.00,A,4950.0680,N,01809.6984,E,0.0,0.0,003.8,050411.04,E,A*22
$GPGGA,173118.00,4950.06800,N,01809.69836,E,1,0,0.9,269.17,M,43.0,M,.,*59
$GPGLL,4950.0680,N,01809.6984,E,173118.00,A,A*01
```

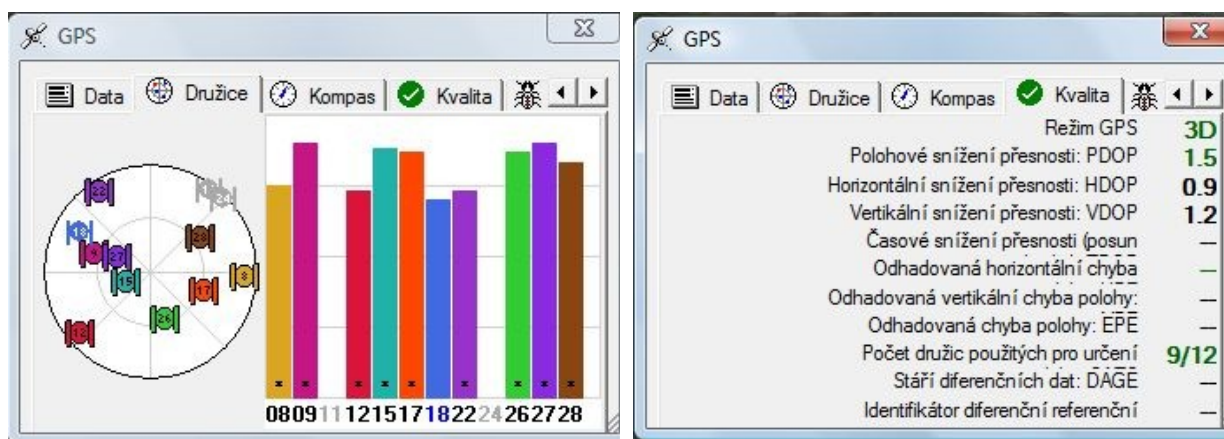
Obr. 5.9 Věty z GPS přijímače při měření bez korekcí



Obr. 5.10 Aktivace GPS a záznamu trasy GPS

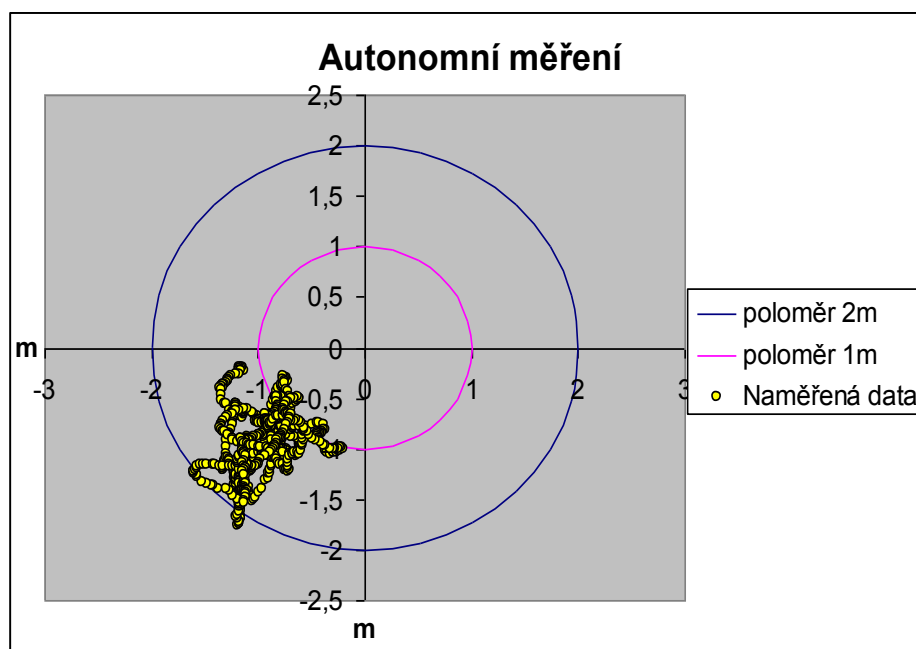


Obr. 5.11 Nastavení záznamu trasy do souboru



Obr. 5.12 Počet viditelných (uzamčených) družic a kvalita měření (signálu)

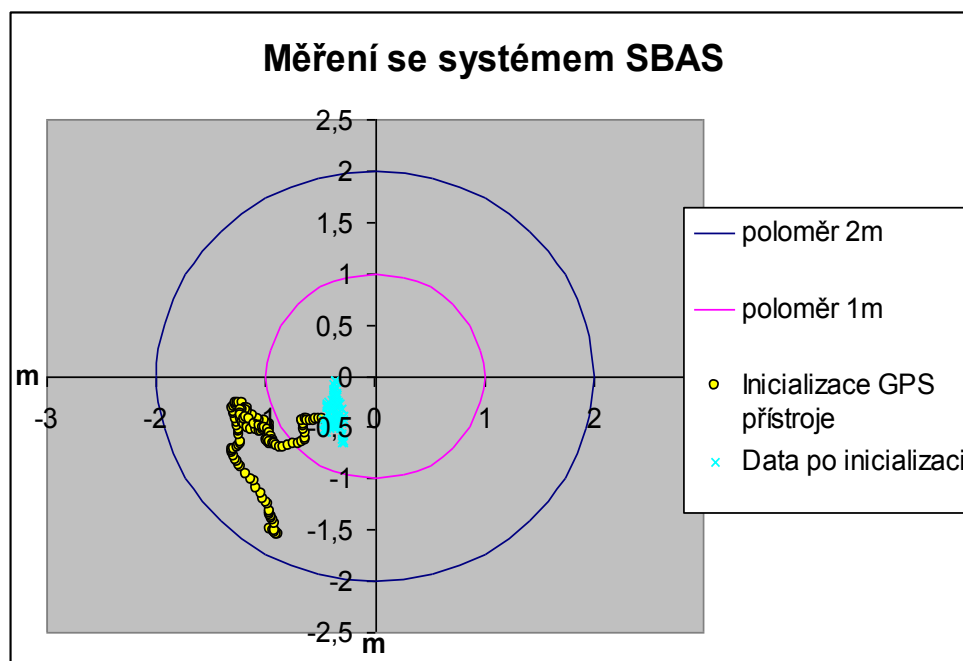
Naměřené hodnoty (souřadnice) jsem odečetl od souřadnic měrného bodu a výsledný rozdíl byl zaznamenán do grafu s předem připravenými kružnicemi o poloměru 1 a 2 metry. Z Obr. 5.13 jde vidět, že signál byl vychýlený o cca 0,8m, což mohl zapříčinit i horší signál z družic nacházejících se na obzoru. Přesnost měření se pohybovala okolo 1,2m.



Obr. 5.13 Výsledný graf měření bez korekcí

Měření s metodou SBAS – probíhalo na stejném principu jako předešlé měření bez korekcí, pouze jsem zapnul opět v programu ACOM32 detekci korekcí ze satelitů příkazem **\$PASHS,WAS,ON**. GPS přijímač se po pár minutách sám přepnul do režimu DGPS a ve větě GGA se místo znaku 1 objevil znak 2, značící diferenční korekce. V grafu vidíme, že přesnost je lepší než u autonomního měření. Z naměřených dat bylo zjištěno, že pokud byl přístroj delší dobu vypnutý, nebo se měří z jiného vzdálenějšího místa, potřebuje nějakou

dobu na inicializaci a stáhnutí všech potřebných dat ze satelitů, které obsahují například informace o ionosféře apod. Maximální doba inicializace je 12,5 minut.

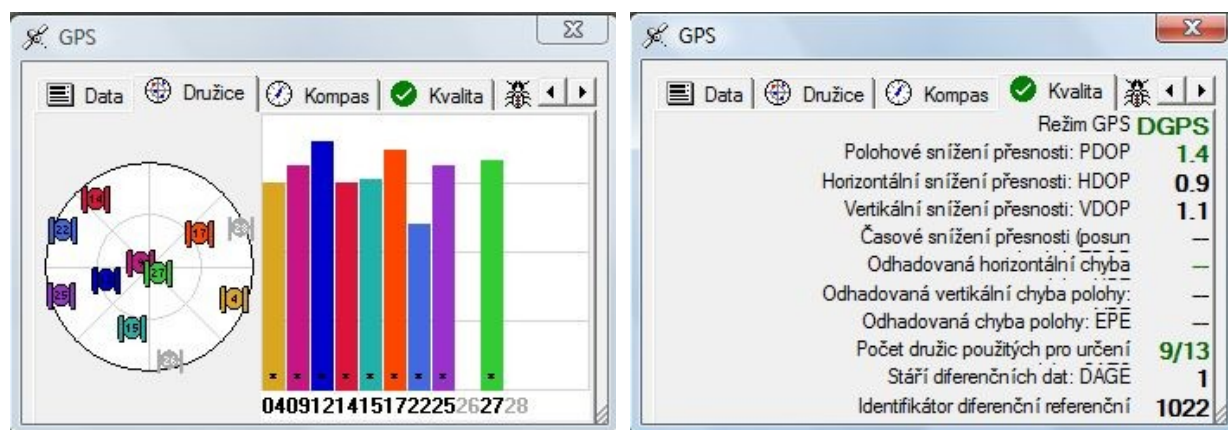


Obr. 5.14 Výsledný graf měření se systémem SBAS

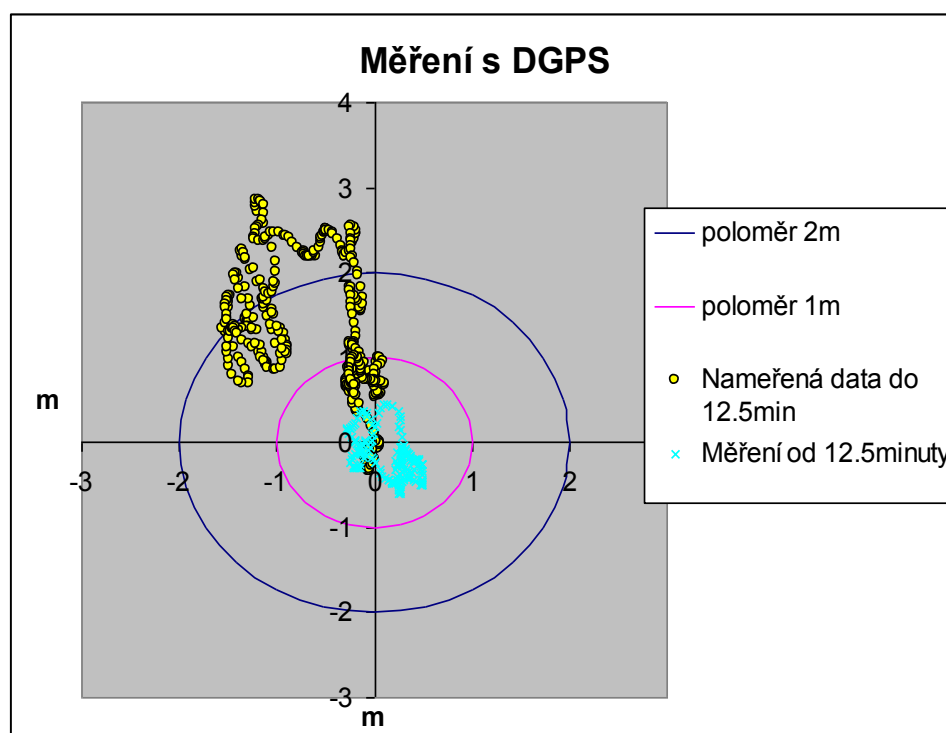
Měření s metodou DGPS – poslední měření bylo problematické, protože pro přenos diferenciálních korekcí byla potřeba internetu, který se na louce například ve formě školní WIFI sítě nevyskytoval. Jelikož byl internet nejsnadnější možností, jak korekce do přístroje dostat, použil jsem internet mobilní, tedy přes telefon (GPRS). Po zapojení GPS přijímače k počítači jsem pomocí software GNSS Internet Radio přivedl na virtuální port COM3 korekce. Systém SBAS jsem vypínat ručně nemusel, protože přístroj automaticky rozezná korekce z referenční stanice a ty mají vždycky přednost před korekcemi ze systému SBAS. Na Obr. 5.15 vpravo dole si můžeme všimnout dvou nových údajů. Jedná se o stáří diferenciálních dat a identifikaci referenční stanice. To je jasný indikátor použití diferenciálních korekcí z referenční stanice. Ve srovnání s ostatními naměřenými daty je na Obr. 5.16 jasně vidět velké zlepšení přesnosti přístroje. Velká odchylka, která při měření vznikla, je příčinou inicializace přístroje se satelity, protože měření bylo provedeno po týdnu, údaje které GPS přístroj měl uloženy z minulého měření, už neplatily. Z naměřených dat byly zjištěny nesrovnalosti ve stáří DGPS korekcí, které mají být v nejlepším případě 0s, ale v našem případě převládalo zpoždění 1s a vyskytl se i dost velký počet korekcí se stářím 2s, což může ovlivnit kvalitu měření. Proto bylo uděláno dodatečné měření na kolejích za pomoci vysokorychlostního internetu, abych zjistil, zda nebylo stáří korekcí ovlivněno přenosem přes

GPRS. Výsledek byl více než jasný. Počet korekcí s nulovým stářím byl mnohonásobně větší a korekce se stářím 2s se vyskytly jen ve 12 případech z 1500 naměřených dat. Proto můžu tvrdit, že na kvalitě měření s metodou DGPS závisí i způsob a rychlost přenosu korekcí.

Na Obr. 5.16 jde vidět, že metoda DGPS byla pro statické měření nejpresnější s nejmenší odchylkou a s největší přesností.



Obr. 5.15 Počet viditelných družic a kvalita signálu při použití DGPS korekcí z referenční stanice



Obr. 5.16 Výsledný graf měření pomocí DGPS

5.4 Dynamické měření s GPS modulem AC12

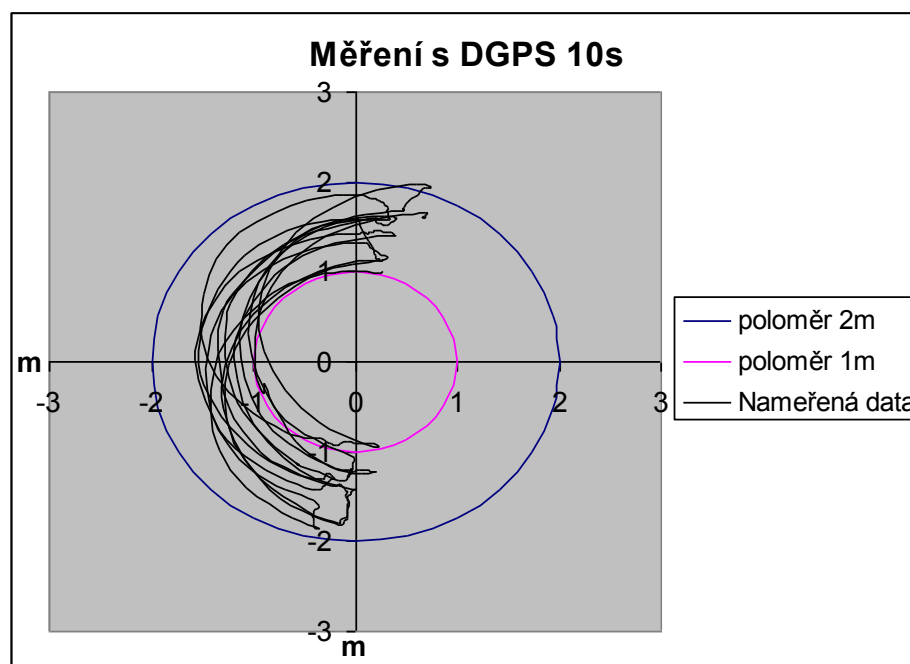
Abych zjistil, jak se modul AC12 chová v reálných podmínkách při pohybu, bylo potřeba provést dynamické měření. To bylo prováděno na stejném místě jako předešlé statické měření. Byl použit geodetický stativ, který měl střed otáčení přesně nad měřicím bodem. Na stativ byla umístěna lať s přesně odměřenou vzdáleností 1,5m od osy otáčení, kde byla nainstalována externí anténa GPS modulu viz Obr. 5.17. Bylo provedeno celkem 6 měření, z toho 3 s metodou DGPS a 3 s metodou SBAS.



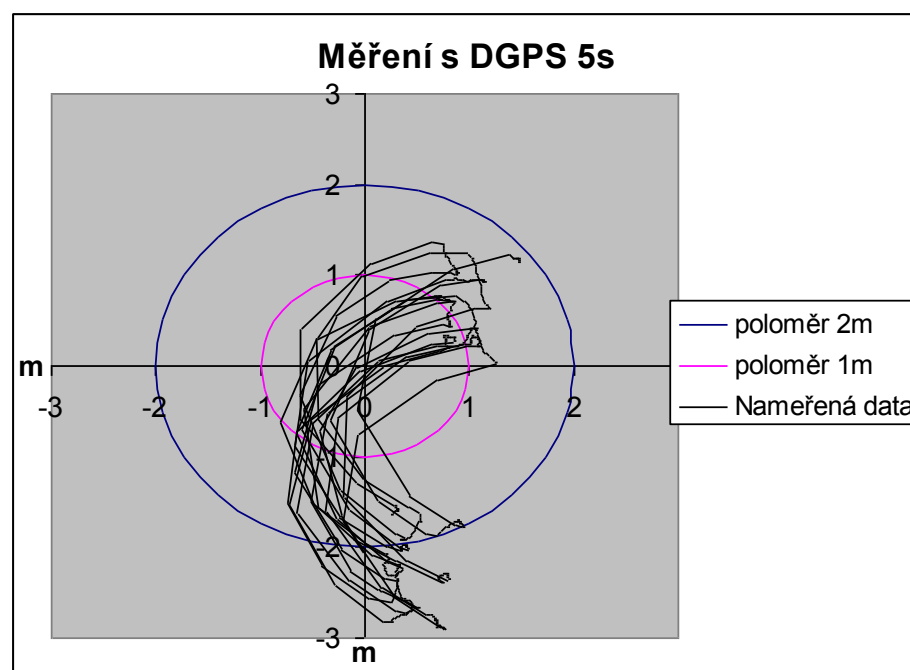
Obr. 5.17 Měřicí aparatura

Měření probíhalo tak, že s latí se otáčelo o půlkruh za jednotku času (10s, 5s, 1-2s u DGPS metody a 10s, 5s u SBAS metody) a následně se počkalo 15s a zase se otočila lať o půlkruh zpátky. Naměřená data byla zaznamenána a vyhodnocena na stejném principu jako při statickém měření.

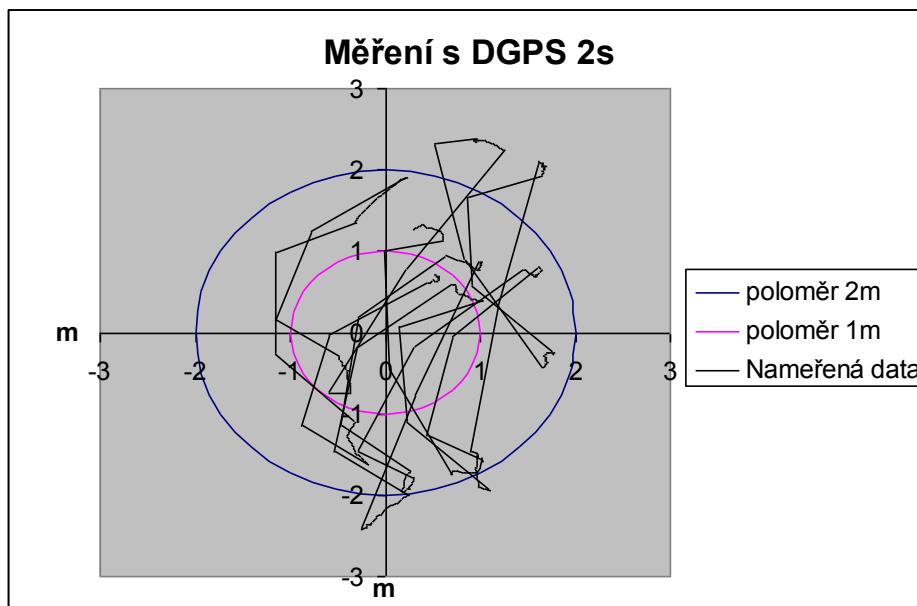
Na Obr. 5.18, 5.19 a 5.20 jsou výsledky měření s metodou DGPS. Můžeme si všimnout, že u 10s a 5s otáčení latí, naše GPS měřila celkem přesně v rozmezí do 1 metru. U 2s měření ale už náš přístroj nedokázal vykreslit za jednotku času potřebný počet bodů a je vidět, že nestíhal ani určovat správně svoji pozici. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena rychlostí aktualizace, která činí u modelu AC12 1 Hz. Vychýlení při měření na Obr. 5.19 mohlo být způsobeno špatnou konstelací družic.



Obr. 5.18 Měření s DGPS za jednotku času 10 s

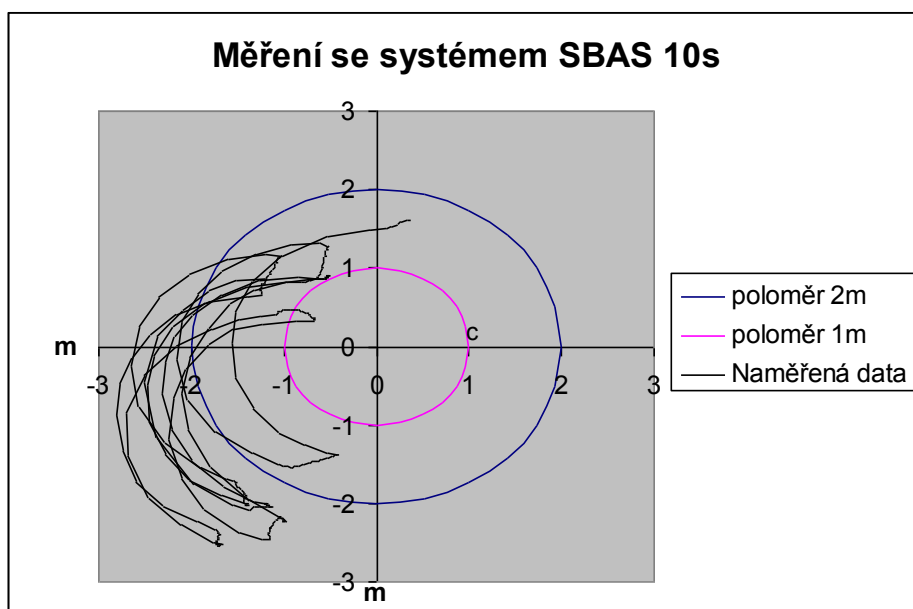


Obr. 5.19 Měření s DGPS za jednotku času 5 s

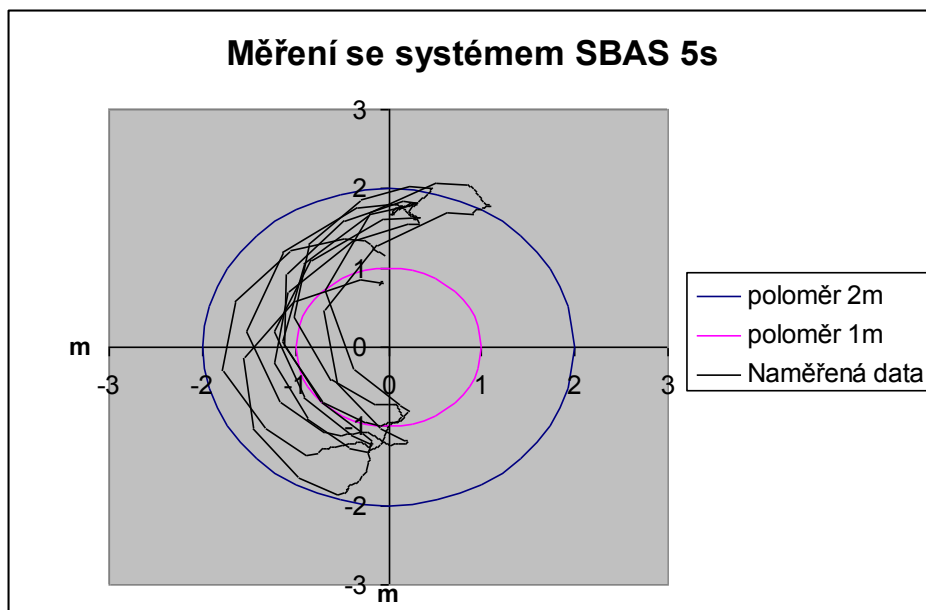


Obr. 5.20 Měření s DGPS za jednotku času 1-2 s

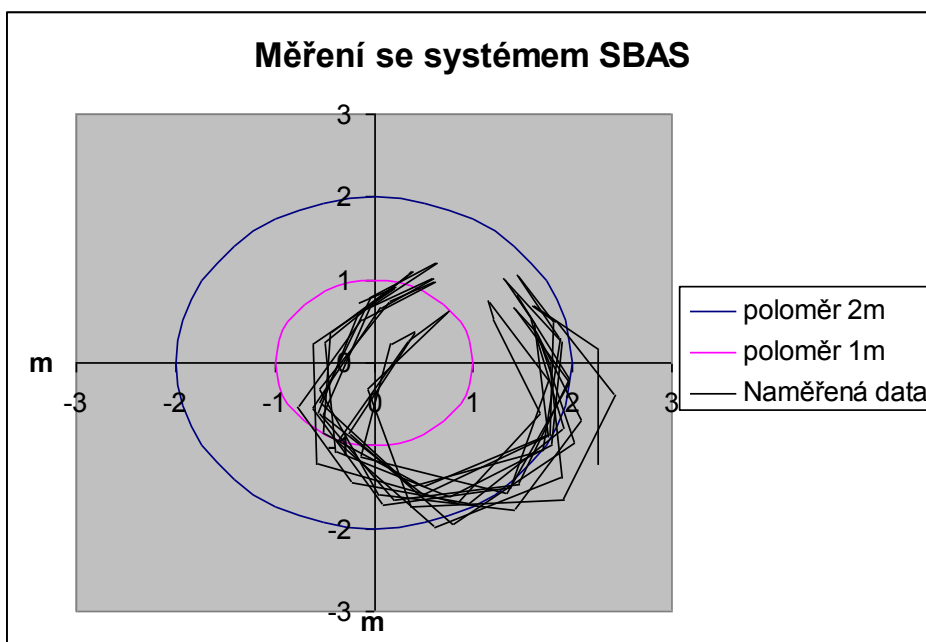
U měření metodou SBAS bylo zjištěno, že rozptyl přesnosti při pohybu je zhruba do 1,5 m. Toto měření bylo prováděno, stejně jako u DGPS, s 15s pauzou, která zřejmě mohla vždy za malé vychýlení měření. Na Obr. 5.23 bylo totiž provedeno pokusné měření bez 15 s přestávky a náš přístroj celkem pravidelně kopíroval kruhovou dráhu bez větších vychylek.



Obr. 5.21 Měření s SBAS za jednotku času 10 s



Obr. 5.22 Měření s SBAS za jednotku času 5 s



Obr. 5.23 Pokusné měření se systémem SBAS bez pauzy

6 Závěr

Práce se zabývá principy zjišťování polohy prostřednictvím Globálních družicových navigačních systémů GNSS, konkrétně se jedná pouze o Globální polohový systém GPS, protože evropský systém Galileo, který byl součástí zadání bakalářské práce, je stále ve vývoji. Jsou zde popsány všechny použitelné metody zpřesňování polohy navigačního systému GPS, použitelné v okolí VŠB-TU Ostrava, včetně faktorů ovlivňujících přesnost systému GPS a jejich zdroje. Je zde zmínka o historii a vývoji navigace, která vedla až k dnešním GNSS systémům.

V první části této práce je popsán teoretický základ věnující se především systému GPS, v menším měřítku pak systému Galileo. Pochopení této teorie je velmi důležité pro další část mé práce, kde za pomoci zakoupeného GPS modulu AC12 a vytvořené komunikační desky jsem schopný měřit a zkoušet tak přesnost přístroje pomocí tří rozdílných metod, kterými jsou autonomní měření (bez korekcí), systém SBAS a DGPS s pomocí referenční stanice VSBO, která se nachází přímo v areálu univerzity, přesněji řečeno na střeše hlavní budovy školy. Pro přenos korekcí DGPS je prozatím použit internet za pomoci protokolu NTRIP. I když je metoda RTK přesnější než DGPS, kvůli časové náročnosti a dražšímu GPS OEM modulu podporující metodu RTK se v práci této metodě nevěnuji. Vystačím si s přijímačem využívající metodu DGPS s možností příjmů korekcí z rozšiřujících systémů SBAS, nebo jak už bylo zmíněno, korekcí z referenčních stanic. Princip fungování metody DGPS za pomoci referenční stanice je názorně ukázán na Obr. 3.17. Na základě tohoto principu bylo provedeno statické měření, které jasně ukázalo, že metoda DGPS je z tří testovaných metod nejpřesnější a že přesnost udávaná výrobcem modulu je správná. Další částí bylo dynamické měření, kde bylo zjišťováno chování GPS modulu AC12 v pohybu, čili v reálných podmínkách, které je pro budoucí využití modulu jako navigaci modelů (např. vrtulník), velmi důležité a nepostradatelné. Při měření bylo zjištěno, že pro přenos diferenčních korekcí je zapotřebí kvalitního připojení, aby nedocházelo ke zpoždování korekcí a obnovovací rychlost našeho GPS modulu AC12, která činí 1Hz je nedostatečná.

Díky této skutečnosti doporučuji pro navigaci vrtulníku vyzkoušet spíše modul MB100 od firmy Magellan s podporou přesnější metody RTK a obnovovací frekvencí až 20Hz.

7 Seznam použité literatury

A12, B12 and AC12 Reference manual. Magellan

BABČANÍK, Jan. *HW.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-10-20]. Jak funguje GPS?. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1634-Jak-funguje-GPS.html>>.

Beruna [online]. 2008 [cit. 2010-11-05]. Navigační GPS přijímače. Dostupné z WWW: <<http://www.beruna.cz/rs/index.php?text=54-navigacni-gps-prijimace>>.

Beruna [online]. 2008 [cit. 2010-11-07]. Geodetické GPS přijímače. Dostupné z WWW: <<http://www.beruna.cz/rs/index.php?text=52-geodeticke-gps-prijimace>>.

Cordis.europa.eu [online]. 1999 [cit. 2011-01-02]. EURONAV TR 4009. Dostupné z WWW: <http://cordis.europa.eu/telematics/tap_transport/research/projects/euroнав.html>.

Csr [online]. 2010 [cit. 2010-11-05]. GPS. Dostupné z WWW: <<http://www.csr.com/products/technology/gps>>.

Czech Space Office [online]. 2010 [cit. 2011-01-04]. Galileo. Dostupné z WWW: <<http://www.czechspace.cz/cs/ckk/galileo>>.

ESA [online]. 2003 [cit. 2011-01-04]. What is the GALILEO Joint Undertaking - GJU?. Dostupné z WWW: <<http://www.provence-bastide.com/galileo/Barbieri-10-09.pdf>>.

European Commission [online]. 2010 [cit. 2011-01-04]. Galileo - What do we want to achieve ?. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/index_en.htm>.

Gama.fsv.cvut.cz [online]. 2008 [cit. 2011-01-06]. Družice a družicové systémy. Dostupné z WWW: <<http://gama.fsv.cvut.cz/~k152/navody/KG10/KAP4OBR-290108.pdf>>.

Geoinformatika [online]. 2006 [cit. 2010-09-30]. Globální polohovací a navigační satelitní systémy. Dostupné z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap09.htm>>.

GLOBÁLNÍ POLOHOVÉ A NAVIGAČNÍ SYSTÉMY [online]. 2011. Datové protokoly a formáty v GNSS. Dostupné z WWW: <http://gis.vsb.cz/vojtek/index.php?page=gnps_c/cviceni01>

GPSINFORMATION [online]. NMEA data. Dostupné z WWW: <<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>>

GPS Lodge [online]. 2006 [cit. 2010-10-21]. What is SiRF Star III chipset?. Dostupné z WWW: <<http://www.gpslodge.com/archives/004566.php>>.

GRANADA [online]. 2011 [cit. 2011-01-05]. GRANADA: Receiver Analysis and Design Application . Dostupné z WWW: <<http://ww1.deimos-space.com/granada/>>.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. *Global Positioning System : Theory and Practice*. Fifth, revised edition. Austria : Springer-Verlag Wien New Yourk, 2001. 382 s. ISBN 3-211-83534-2.

HOJGR, Radek; STANKOVIČ, Jan. *GPS : Praktická uživatelská příručka*. Brno : Computer Press, a.s., 2007. 221 s. ISBN 978-80-251-1734-7.

HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. *Rádiové určování polohy : Družicový systém GPS*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1996. 267 s.

HUMUSOFT [online]. 2007 [cit. 2011-01-05]. Software pro návrh přijímače evropského navigačního systému Galileo. Dostupné z WWW: <<http://www.humusoft.cz/archived/pub/matlab/2007/galileo/galileo.htm>>.

KAPLAN, ELLIOTT, D; *Understanding GPS: Principles and Applications*, Second Edition, Artech House Publisher; 2 edition, 2005, pages 726, ISBN-10: 1580538940.

LEICK, Alfred. *Universitetet i Oslo* [online]. 1992 [cit. 2011-01-02]. Delineating Theory for GPS Surveying. Dostupné z WWW: <http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/gps_Leick-art.htm>.

National Geodetic Survey [online]. 2011. Dostupné z WWW: <http://www.ngs.noaa.gov/>

Navigovat.cz [online]. 2009 [cit. 2010-11-05]. Sirf má GPS přijímač pro mobily: Sirf Star IV. Dostupné z WWW: <<http://navigovat.mobilmania.cz/clanky/sirf-ma-gps-prijimac-pro-mobily-sirf-star-iv/sc-3-a-1314314>>.

Odbor kosmických technologií a družicových systémů [online]. 2009 [cit. 2011-01-04]. Úřad pro dohled nad evropskými GNSS. Dostupné z WWW: <<http://www.spacedepartment.cz/wiki/GSA>>.

Path.cz [online]. 2007 [cit. 2011-01-03]. Dodatek: Struktura signálu GPS. Dostupné z WWW: <<http://www.path.cz/forum/viewtopic.php?f=4&t=21>>.

PRC68.COM [online]. 2007 [cit. 2010-11-07]. DAGR - Defense Advanced GPS Receiver. Dostupné z WWW: <<http://www.prc68.com/I/DAGR.shtml#DAGR>>.

Radio.feld.cvut.cz [online]. 1998. VEJRAŽKA, František; FIŠER, Jan.: The DGPS Reference Station of the Czech Technical University. Dostupné z WWW: <http://radio.feld.cvut.cz/projects/houston/houst_e.html>

Radio.feld.cvut.cz [online]. 2002. VEJRAŽKA, František.: Referenční stanice DGPS ČVUT FEL. Dostupné z WWW: <<http://radio.feld.cvut.cz/projects/houston/index.php3?lang=cz>>

RAPANT, Petr. *Úvod do družicových polohových systémů : Skripta PGS*. [s.l.] : [s.n.], 1995. 61 s.

RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2002. 197 s. ISBN 80-248-0124-8.

ROBOTIKA.CZ [online]. Martin Dlouhý 2006. GPS. Dostupné na WWW:
<<http://robotika.cz/guide/gps/cs>>

SANAV [online]. 2011. GPS Antenna with Low Noise Amplifier. Dostupné z WWW:
<http://www.sanav.com/gps_antennas/gpa/sm-76.htm>

STEINER, Ivo; ČERNÝ, Jiří. *GPS od A do Z*. 4. aktualizované vydání. Praha : ENav, s. r. o., 2006. 264 s. ISBN 80-239-7516-1.

ŠVÁBENSKÝ, Otakar; FIXEL, Jan; WEIGEL, Josef. *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1995. 123 s. ISBN 80-214-0620-8.

VALIŠ, Pavel [online]. 2006 [cit. 2011-01-04]. Družicová navigace-současný stav systému Galileo. Dostupné z WWW: <<http://klokan.vsb.cz/vyuka/mgit/Galileo.pdf>>.

VANCOUVER-WEBPAGES [online]. 2008 NMEA FAQ. Dostupné z WWW:
<<http://vancouver-webpages.com/peter/nmeafaq.txt>>

VESOG [online]. 2008 [cit. 2011-01-07]. Permanentní GNSS stanice VSBO. Dostupné z WWW: <<http://oko.asu.cas.cz/vesog/stanice/vsbo.html#about>>.

ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD [online]. 2011 [cit. 2011-01-07]. ČESKÁ SÍŤ PERMANENTNÍCH STANIC PRO URČOVÁNÍ POLOHY. Dostupné z WWW:
<http://czepos.cuzk.cz/_index.aspx>.